

# **Jungwaldpflegeverfahren auf der Lothar-Sturmfläche Diessenhofen TG**

**Schlussbericht mit den Ergebnissen der bisherigen  
Inventuren**

**Caroline Ninove, Petia Nikolova, Jürgen Zell, Anton Bürgi,  
Peter Brang**



**Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee  
und Landschaft WSL, Birmensdorf**

Juli 2015

### Zitierung

Ninove C., Nikolova P., Bürgi A., Zell J., Brang P. 2015. Jungwaldpflegeverfahren auf der Lothar-Sturmfläche Diessenhofen TG. Schlussbericht mit den Ergebnissen der bisherigen Inventuren. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 40 S.

Bezugsquelle: Im pdf-Format zu beziehen über [e-collection.ethz.ch](http://e-collection.ethz.ch)

### Dank

Wir danken den Mitarbeitenden der Inventurteams für die strenge Inventurarbeit seit 2003, namentlich Ueli Wasem, Regina Brücker, Julian Derron, Christian Matter, Hubert Schmid, Thomas Kuster, Kathrin Streit, Samuel Kneubühler, Jakob Wüthrich und Lukas Dämpfle. Dem zuständigen Förstern Hans Weber (bis 2013), Jakob Gubler und Robert Schönholzer sowie dem Vorarbeiter Dani Schantong sind wir für die Durchführung der Pflegearbeiten und viele wertvolle Hinweise zu Dank verpflichtet. Heinz Kuhn (bis 2011) und U. Ulmer vom Forstamt Thurgau haben das Projekt mit grossem Interesse und Kompetenz begleitet. Die Bürgergemeinde Diessenhofen erlaubt uns, ihren Wald für diesen Versuch zu nutzen. Dem Kanton Thurgau und dem Bundesamt für Umwelt danken wir für die finanzielle Unterstützung der Forschung auf der Versuchsfläche in Diessenhofen.

### Umschlag

Bilder der Versuchsfläche in Diessenhofen (Fotos: S. Streit, S. Kneubühler)

©Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf, 2015

# Inhalt

1	Einleitung.....	5
1.1	Hintergrund.....	5
1.2	Die Versuchsfläche Diessenhofen.....	5
1.3	Zweck dieses Berichts .....	8
2	Methoden.....	9
2.1	Inventurmethoden.....	9
2.2	Inventurmethoden von 2003.....	9
2.2.1	Auswahl der Kandidaten und Ersatzkandidaten .....	9
2.2.2	Inventur der Kandidatenumgebung .....	10
2.3	Inventurmethoden von 2007, 2011 und 2013.....	11
2.4	Inventurmethode von 2014.....	12
2.5	Erfassung des Pflegeaufwandes .....	13
2.6	Auswertungsmethoden .....	13
3	Ergebnisse.....	14
3.1	Beschreibung der Bestände .....	14
3.1.1	Stammzahl und Grundfläche.....	14
3.1.2	Stammzahlverteilung nach Baumarten und BHD-Stufen.....	15
3.2	Kandidaten .....	16
3.2.1	Entwicklung der Baumartenzusammensetzung.....	16
3.2.2	Entwicklung der 2003 ausgewählten Kandidaten .....	18
3.2.3	Baumartenwechsel und Kandidatenentwicklung.....	21
3.2.4	Dimension der Kandidaten 2014 .....	24
3.2.5	Stammqualität der Kandidaten 2014 .....	26
3.3	Pflegeaufwand .....	27
4	Diskussion .....	29
4.1	Aussagebereich der Versuchsanlage in Diessenhofen .....	29
4.2	Entwicklung des Bestandes.....	29
4.3	Entwicklung der 2003 gewählten Kandidaten .....	30
4.4	Baumartenvielfalt der Kandidaten .....	31
4.5	Zustand der Bestockung 2014 .....	32
4.6	Wirksamkeit der Eingriffe und ökonomische Aspekte .....	32
4.7	Empfehlungen für die Praxis und Ausblick .....	34
5	Literatur .....	35
5.1	Zitierte Literatur zur Jungwaldentwicklung und -pflege.....	35
5.2	Literatur zu R und R Packages.....	36
6	Anhang.....	38
6.1	Bilddokumentation .....	38
6.2	Datenbanken.....	40

## Zusammenfassung

Der Sturm Lothar verursachte Ende 1999 im Schweizer Mittelland grosse Flächenschäden. Den betroffenen Waldbesitzern stellte sich die Frage, wie die entstandenen grossen Sturmflächen mit Naturverjüngung in der Jungwaldphase waldbaulich effizient zu behandeln sind. Das Forschungsprojekt «Extensivierung Jungwaldpflege» hatte daher zum Ziel, die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit verschiedener Behandlungskonzepte zu testen.

Der Kanton Thurgau (Staatswald) und die Bürgergemeinde Diessenhofen stellten dafür 2003 der WSL eine 7,3 ha grosse Jungwaldfläche in einem Laubmischwald zur Verfügung. Die Studie wurde als Blockversuch mit 16 Teilparzellen angelegt. Ein Block besteht aus 4 Parzellen mit je einem Pflegeverfahren (A-D). Im Verfahren A wurden keinerlei Eingriffe ausgeführt. Im Verfahren B erfolgte der Ersteingriff bei einer Oberhöhe von 12 m (im Herbst 2014) im Endabstand. Auch im Verfahren C wurde im Endabstand gepflegt, jedoch erfolgte der Ersteingriff bei einer Oberhöhe von 5 m erst 2007. Im Verfahren D wurde auf konventionelle Art 2003, 2007, 2011 und 2014 eingegriffen. Mit wiederholten Inventuren in den Jahren 2003, 2007, 2011, 2013 und 2014 wurde die Entwicklung von rund 480 nach waldbaulichen Kriterien ausgewählten Kandidaten verfolgt. Kandidaten, die nach 2003 ihren Status verloren, wurden laufend durch neue Kandidaten ersetzt. Die Erhebungsmethoden aller Inventuren waren ähnlich, wurden aber jeweils an das Entwicklungsstadium des Bestandes angepasst. Zusätzlich wurden Zeit- und Kostenaufwand für die Eingriffe erfasst.

Die Stammzahl der mindestens 20 cm grossen Bäumchen halbierte sich von 2003 bis 2014 von 31'000/ha auf 15'900/ha, die Grundfläche betrug 2014 durchschnittlich 19,6 m<sup>2</sup>/ha. Die 474 Kandidaten waren im Jahr 2014 durchschnittlich 10,7 m ( $\pm 0,2$  m) hoch und hatten einen BHD von 11,1 cm ( $\pm 0,3$  cm). Während im Jahr 2014 auf der ganzen Fläche Buchen mit 58% Anteil dominierten, hatten Hagebuchen 14%, Fichten 8%, Eschen 6% und Tannen 4% Anteil. Unter den Kandidaten hatten Buchen 41% Anteil, Eichen 12%, Kirschbäume 7%, Fichten 12% und Tannen 7%. Insgesamt kamen im Jungwald über 20 Baumarten vor.

Ein Kandidat bewahrte gemäss einem logistischen Regressionsmodell mit allen Bäumen seinen Status von 2003 bis 2014 häufiger, wenn er ein Kirschbaum, eine Tanne oder eine Eiche war, wenn er vorherrschend oder zumindest herrschend war (2007), wenn er in einer Teilparzelle mit Verfahren D oder C stand, wenn er 2003 von nur wenigen Konkurrenten umgeben war und je gedrungener seine Stammform 2003 war. Eschen und Hagebuchen verloren ihren Status überdurchschnittlich häufig. Kandidaten, die nicht Buchen oder Hagebuchen waren, bewahrten ihren Status bei schlechter Stammqualität seltener als bei guter.

Die Pflegeeingriffe hatten bis 2014 folgende Wirkung: 1) sie reduzierten die Grundfläche um etwa 25%; 2) sie erhöhten die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kandidat seinen Status bewahren konnte, auch bei Betrachtung aller Baumarten ohne Buche und Hagebuche; 3) sie verminderten den Verlust an Baumarten vermutlich leicht, und 4) sie (nur Verfahren D) verminderten die Baumhöhe geringfügig. Die Kosten der Eingriffe lagen bei 413 CHF/ha in Verfahren B, 2180 CHF/ha in Verfahren C und 5002 CHF/ha in Verfahren D. Die Kosten für das Erhalten eines Kandidaten der erwünschten Baumarten (ohne Buche und Hagebuche) von 2003 bis 2014 wird in Verfahren C auf 133 CHF geschätzt, in Verfahren D auf 188 CHF.

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse, dass sich mit Jungwaldpflege-Eingriffen Mischbaumarten zur Buche erhalten lassen, dass sie allerdings kostspielig sind. Daher sollten sie zwischen und innerhalb Beständen räumlich konzentriert und nicht überall angewendet werden.

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund

Der Sturm Lothar Ende 1999 hat im Mittelland grosse Flächenschäden verursacht. Alleine in der Schweiz wurden 13,8 Mio. m<sup>3</sup> Holz umgeworfen (WSL & BUWAL 2001). Wie die entstandenen grossen Sturmflächen in der Jungwaldphase waldbaulich zu behandeln sind, war eine offene Frage. Das Forschungsprojekt «Jungwaldpflege Diessenhofen» hatte daher zum Ziel, unterschiedliche Verfahren der Jungwaldpflege in Laubwald-Mischbeständen zu testen und kostengünstige und zugleich wirksame Verfahren vorzuschlagen sowie in Zusammenarbeit mit der Forstpraxis eine Demonstrationsfläche solcher Pflegeverfahren aufzubauen.

Da sich die meisten betroffenen Waldbesitzer keine klassische Jungwaldpflege leisten konnten, stellten sich die folgenden Teilfragen: Wie wirksam sind unterschiedliche Pflegemassnahmen? Wie aufwändig sind sie? Wie entwickeln sich Jungbestände, wenn ganz oder teilweise auf deren Pflege verzichtet wird? Wie viel soll in die Pflege investiert werden?

Um diese Fragen anzugehen, führte die WSL mit Unterstützung des Bundesamtes für Umwelt von 2001 bis 2003 das Forschungsprojekt «Jungwald-Pflegekonzepte für grosse Sturmflächen» durch (Nobis & Bürgi 2004). Dieses Projekt sowie die vier Forschungsprojekte «Wiederbewaldung nach Vivian» (seit 1991), «Rahmenprojekt Lothar» (2001-2004), «Extensive Verjüngungsverfahren nach Lothar» (seit 2001) und «Weiterentwicklung Jungwaldpflege (Diessenhofen)» (2014-2015) leisteten Beiträge zur Erarbeitung kosteneffizienter Jungwaldpflegeverfahren auf grossen Sturmflächen, wobei die Naturverjüngung besonders berücksichtigt wurde (Brang & Wohlgemuth 2013, Brang et al. 2014, Brang et al. 2015). Auf den Sturmflächen wurden und werden Räumungsvarianten und Wiederbewaldungsverfahren verglichen, wobei die Projekte teilweise als Blockversuche angelegt sind. Dabei werden die gleichen Varianten auf mehreren Flächen und innerhalb jeder Fläche auf mehreren Teilflächen wiederholt; allerdings sind diese Versuchsflächen für das Testen von Jungwaldpflegeverfahren ungeeignet.

Daher stellten der Kanton Thurgau (Staatswald) und die Bürgergemeinde Diessenhofen im Jahr 2003 zur Untersuchung von Jungwaldpflegeverfahren eine grosse Versuchsfläche in einem Laubmischwald auf dem Buchberg bei Diessenhofen zur Verfügung (Brang et al. 2003).

## 1.2 Die Versuchsfläche Diessenhofen

Die Versuchsfläche Diessenhofen liegt im Buchberg und gehört teils der Bürgergemeinde Diessenhofen, teils zum Staatswald St. Katharinental. Die ganze Sturmfläche erstreckt sich über 25 ha und liegt in einer Höhe von 420 bis 450 m ü. M., ist West-Nordwest exponiert und leicht geneigt (2-20%).

Der Ausgangsbestand vor dem Sturm Lothar war 80 bis 100 Jahre alt und von Buchen dominiert (Buchenanteil ca. 70%), mit einem erheblichen Anteil an Eichen und mit beigemischten Eschen und Ahornen. Im mittleren Teil standen einige grosse Douglasien und vereinzelte Fichten und Tannen. Die Douglasien überstanden den Sturm, wurden aber 2004 genutzt. Die meisten Eichen (mit Anteil ca. 30%) und die wenigen beigemischten Fichten und

Tannen befanden sich im südöstlichen Teil. Ein Lichtungshieb einige Jahre von dem Sturm hat die Naturverjüngung eingeleitet und v.a. zu einer Buchenvorverjüngung geführt.

Die Sturmfläche wurde nach dem Sturm geräumt und, mit der Ausnahme weniger Lärchen, natürlich verjüngt (Abbildung 1). Die Eiche fruktifizierte im Jahr 1998 stark, die Buche hatte 1999 ein Samenjahr. In der Folge keimten auf der Fläche unmittelbar nach dem Sturm Lothar viele Eichen und Buchen, nebst den Pioniergehölzen. Im nördlichen Teil (Wiederholung 1) bestand schon eine üppige Buchen-Vorverjüngung, welche sich nach dem Sturm gut entwickelte. Im Jahr 2002 wurden 400 natürlich verjüngte Eichen mit Einzelschutz vor Verbiss versehen (16 pro ha, Rüegg 2003).

Von 2000 bis 2003 wurde ein Monitoring zu Wald und Wild (Reh) durchgeführt (Finanzierung durch BAFU, durchgeführt von Dani Rüegg; Rüegg 2002, 2003). Im Jahr 2003 wurden in der Sturmfläche 7,3 ha als Versuchsfläche ausgeschieden, die im *Galio odorati-Fagetum typicum* (Schmider et al 2003, Streit & Brang 2007) liegen, mit den Varianten 7a (ca. 67% der Fläche), 7d (5%), 7f (17%) und 7g (10%). Ein Prozent der Fläche liegt im *Galio odorati-Fagetum luzuletosum* (6). Die Naturverjüngung, erfasst auf der Versuchsfläche zum ersten Mal im Jahr 2003, bestand aus rund 62% Buche, 11% Esche, 9% Hagebuche, 7% Fichte, 3% Eiche und 8% (Tanne, Kirschbaum, Douglasie, Lärche, Birke, Linde; Streit 2007). Das zu Beginn des Versuchs festgelegte **Bestockungsziel** lautete 40% Buche, 20% Eiche, 10% Esche, 10% Bergahorn, 20% andere Baumarten (Föhre, Douglasie, Fichte, Tanne).



**Abbildung 1. Buchen- und Fichten-Vorverjüngung auf der Versuchsfläche in Diessenhofen, Stand 2003.**

Die Studie wurde als Blockversuch angelegt (Abbildung 2). Ein Block (eine Wiederholung) besteht aus 4 Teilflächen mit je einem Pflegeverfahren (A-D). Jedes Pflegeverfahren wurde so 4 Mal wiederholt. Insgesamt gibt es also 16 Teilflächen. Die Pflegeverfahren wurden zufällig zugeteilt. Mit wiederholten Inventuren wurde die Entwicklung von rund 480 nach waldbaulichen Kriterien ausgewählten Kandidaten verfolgt.

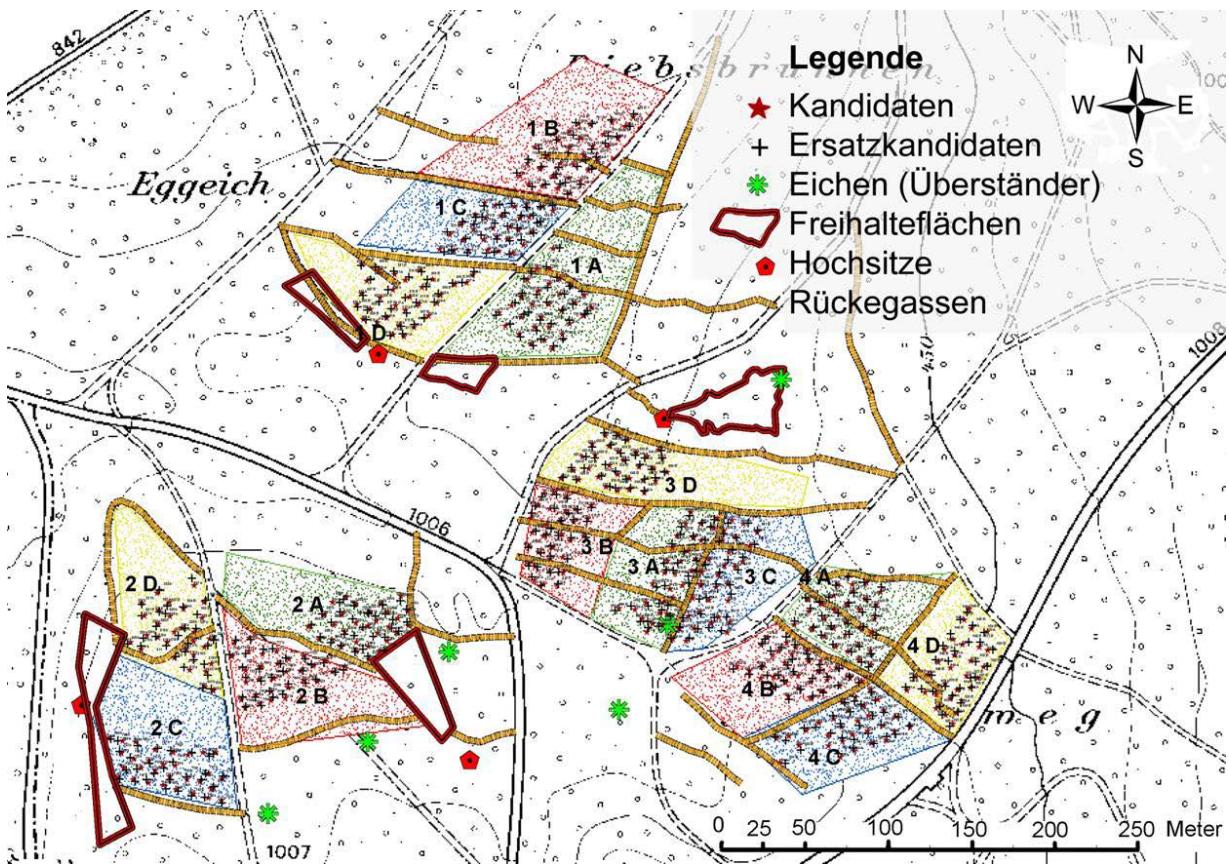


Abbildung 2. Plan der Versuchsfläche in Diessenhofen. Die Ziffern 1-4 bezeichnen die vier Wiederholungen, die Buchstaben A (grün), B (rot), C (blau) und D (gelb) die Pflegeverfahren.

Die vier Pflegeverfahren wurden wie folgt definiert:

**Variante A:** Kontrolle. Der Jungwald wird ohne Pflegeeingriffe ganz der natürlichen Entwicklung überlassen.

**Variante B:** Der erste Eingriff findet bei einer Oberhöhe des Bestandes von 12 m statt, was im Herbst 2014 der Fall war. Die Kandidaten stehen im Endabstand und werden durch Aushieb von Konkurrenten gefördert.

**Variante C:** Der erste Eingriff fand bei einer Oberhöhe von 5 m statt, was im Jahr 2007 der Fall war (Abbildung 3). Weitere Pflegeeingriffe wurden 2011 und 2014 durchgeführt. Die Kandidaten stehen im Endabstand und werden durch Aushieb von Konkurrenten gefördert.

**Variante D:** Der erste Eingriff fand in der Dickung im Jahr 2003 statt, weitere Eingriffe folgten 2007, 2011 und 2014. Die Kandidaten stehen im Endabstand und werden durch Aushieb von Konkurrenten gefördert. Zwischen diesen Kandidaten werden weitere gut geformte Kandidaten gefördert und Protzen entfernt. Dieser Eingriff entspricht einer flächigen Jungwaldpflege.



**Abbildung 3. Pflegeeingriff zur Begünstigung eines Kirschbaums im Jahr 2007. Links vor dem Eingriff, Mitte beim Eingriff, rechts nach dem Eingriff.**

### 1.3 Zweck dieses Berichts

Dieser Bericht enthält eine Auswertung aller bisherigen Inventuren und geht damit über den Bericht von Streit & Brang (2007) hinaus. Die Auswertung bezieht sich auf die Entwicklung der 2003 bestimmten Kandidaten, auf den Zustand (Baumarten, Dimension und Stammqualität) der Kandidaten im Jahr 2014 und auf den Pflegeaufwand. Zudem wird die Aussagekraft der aktuellen Projektbefunde für die Jungwaldpflege in Mischwäldern kritisch gewertet.

## 2 Methoden

### 2.1 Inventurmethoden

Die Erhebungsmethoden der Inventuren 2003, 2007, 2011, 2013 und 2014 sind ähnlich, wurden aber jeweils an die Fragestellung und an das Entwicklungsstadium des Bestandes angepasst. Die Erhebungsmethoden von 2003 und 2007 sind in Streit & Brang (2007) beschrieben. Die Inventurarbeiten sind in einem technischen Bericht (Kneubühler & Dämpfle 2014) dokumentiert, dem auch weitere Informationen über das Projekt zu entnehmen sind. Ninove (2014) beschreibt die Vorgehensweise bei der Inventur 2014 und erste Ergebnisse dieser Inventur in ihrer Masterarbeit. Im vorliegenden Bericht sind die Inventurmethoden von 2003, 2007, 2011 und 2013 kurz beschrieben und anschliessend werden die Methode der Inventur 2014 und deren Ergebnisse vorgestellt.

### 2.2 Inventurmethoden von 2003

#### 2.2.1 Auswahl der Kandidaten und Ersatzkandidaten

Im Jahr 2003 wurden bei einer Oberhöhe von ca. 2 m in jeder Teilfläche 30 **Kandidaten** für Z-Bäume im Dreiecksverband ausgewählt und einzeln mit Kabelbinder und Aluplakette (Abbildung 4, links) markiert. Zu jedem Kandidat wurde im Abstand von 1 bis 3 m ein **Ersatzkandidat** bestimmt, um für den Fall, dass ein Kandidat ausfallen würde, einen Ersatzbaum mit Informationen ab 2003 zur Verfügung zu haben. Die Ersatzkandidaten wurden also aus versuchstechnischen und nicht aus waldbaulichen Gründen gewählt<sup>1</sup>. Die Lage der Kandidaten und der Ersatzkandidaten wurde mit GPS eingemessen. Zusätzlich wurden für alle Kandidaten die wichtigsten Konkurrenten bestimmt (maximal 5).

Vier Hauptkriterien wurden bei der Auswahl der Kandidaten berücksichtigt. 1) Der Baum musste herrschend oder vorherrschend sein, d.h. zumindest 0,5 m höher als die benachbarten Bäume. 2) Zudem musste er über eine hohe Vitalität verfügen und durfte 3) keine Qualitätsmängel wie Zwiesel, Steilast oder starke Abweichung der Stammachse von einer Geraden aufweisen (Abbildung 4). 4) Weiter sollten wenn möglich Baumarten wie Eiche, Esche, Ahorn, Tanne und Fichte als Kandidaten bevorzugt werden, um das Bestockungsziel (Kap. 1.2) zu erreichen.

Der Abstand zwischen den Kandidaten sollte im Durchschnitt 9 m betragen (von 6 bis 11 m), effektiv waren die Abstände kleiner, mit durchschnittlich 6,2-7,6 m (Streit & Brang 2007). Kandidaten, die nach 2003 ihren Status verloren, wurden während der späteren Inventuren durch neue Kandidaten ersetzt. Dies geschah 2007, 2011, 2013 und 2014.

---

<sup>1</sup> Eine detaillierte Analyse der Ersatzkandidaten wurde nicht durchgeführt, weil diese waldbaulich nicht relevant sind. Da Kandidaten oft durch andere Bäume ersetzt wurden als durch Ersatzkandidaten, erwies sich die Zusatzinformation der Ersatzkandidaten als nicht nutzbar.



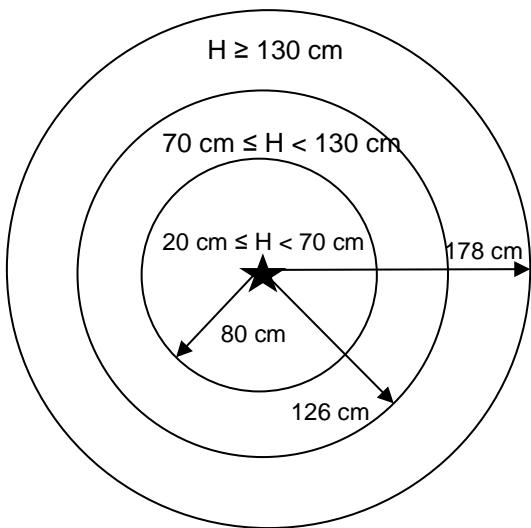
**Abbildung 4. Stammqualität der Kandidaten: Bruch der Stammachse bei einer Buche (links) und Messung der Abweichung von einer geraden Stammachse (rechts).**

In jeder der 16 0,34 bis 0,69 ha grossen Teilflächen wurden im Jahr 2003 30 Kandidaten und 30 Ersatzkandidaten ausgewählt, insgesamt also 480 Kandidaten und Ersatzkandidaten. Die Kandidaten wurden überall in den Teilflächen ausgewählt (also auch über die genannten 30 hinaus), im Rahmen dieses Projektes wurden jedoch nur die 30 Kandidaten in einer zusammenhängenden Fläche innerhalb jeder Teilfläche verfolgt (Abbildung 2). Sie wurden mit einer blauen Plakette mit ausgestanzter Nummer markiert (Abbildung 4, links). Die Ersatzkandidaten wurden mit einer silbernen Plakette markiert, die mit derselben Nummer versehen war wie der zugehörige Kandidat. Details berichten Brücker (2013) sowie Kneubühler & Dämpfle (2014).

## 2.2.2 Inventur der Kandidatenumgebung

Nachbarbäume wurden in drei Probekreisen rund um jeden Kandidaten erfasst (Anzahl der Bäume, BHD in mm, Höhe in cm, Baumart), je nach ihrer Grösse (Abbildung 5). In einem kleinen Umkreis mit 70 cm Radius ( $2,0 \text{ m}^2$ ) rund um jeden Kandidaten wurden alle Bäume erfasst, die mindestens 20 cm und maximal 69 cm gross waren; in einem mittleren Umkreis von 126 cm Radius ( $5,0 \text{ m}^2$ ) wurden alle Bäume mit einer Höhe zwischen 70 cm und 129 cm mit denselben Parametern erfasst. Im grössten Kreis (Radius 178 cm und  $10,0 \text{ m}^2$  Fläche) wurden nur Bäume mit Höhe von mindestens 130 cm aufgenommen. In allen Kreisen wurde zusätzlich die Bodenbedeckung mit folgenden Merkmalen erfasst:

- Deckung der Vegetation (%)
- Deckung von Farnen (%)
- Deckung von Brombeeren (%)



**Abbildung 5. Schematische Darstellung der Inventur der Umgebung jedes Kandidaten (schwarzer Stern), mit drei konzentrentischen Kreisen um den Kandidaten herum.**

Von bis zu 5 waldbaulich wichtigsten Konkurrenten pro Kandidat wurden Höhe, BHD und Distanz zum Kandidaten bestimmt. Details sind bei Streit & Brang (2007) dokumentiert. Konkurrenten durften höchstens 2 m vom Kandidaten entfernt und mussten mindestens mitherrschend sein.

## 2.3 Inventurmethoden von 2007, 2011 und 2013

Bei den Inventuren wurden folgende Baumerkmale erfasst:

- Baumart: Die Zugehörigkeit zur jeweiligen Baumart wurde überprüft.
- Vitalität: (0=tot, 1=lebend)
- Höhe: Baumhöhe (m, Genauigkeit 0,5 m, gemessen mit Jalon)
- BHD: Baumdurchmesser (mm, Genauigkeit 1 mm, gemessen in 1,30 m Baumhöhe über Boden, bergseits)
- Status: (0=nicht mehr Kandidat, 1=Kandidat)
- Soziale Stellung: Es wurden 5 Stufen definiert:
  - Vorherrschend (mindestens 2 m höher als umliegende Nachbarn, Krone gleichmäßig und gut entwickelt)
  - Herrschend (am oberen Kronenschirm beteiligt, Krone gleichmäßig und gut entwickelt)
  - Mitherrschend (direkter Zugang zu Licht, jedoch weniger hoch und mit weniger gut entwickelter Krone als bei herrschenden Bäumen)
  - Beherrscht (am oberen Kronenschirm nicht beteiligt, Krone jedoch in Berührung mit den Kronen des Hauptbestandes)
  - Unterständig (Krone vollständig überschirmt)

- Anzahl entfernter Konkurrenten: Nach dem Identifizieren der bekannten Konkurrenten werden die Strünke unbekannter Konkurrenten gezählt und deren Anzahl notiert.
- Abweichung von einer geraden Stammachse: Bäume, deren Stammachse aus einem gedachten Zylinder von 10 cm Durchmesser, der die Achse umschließt, abweicht, erhalten den Code 1 (abweichend), die anderen 2 (nicht abweichend).
- Zwiesel: Muss sich mindestens 2,0 m unterhalb des Gipfels befinden, der dünnere Trieb soll mindestens 2/3 so dick sein wie der dickere Trieb. 0 bedeutet kein Zwiesel, 1 bedeutet Vorhandensein von mindestens einem Zwiesel.
- Höhe Zwiesel: Abgangsstelle des Zwiesels am Stamm (m, Genauigkeit 1 dm, gemessen mit Jalon). Bei mehreren Zwieseln wurde nur die tiefste Abgangsstelle gemessen.
- Steilast: Der Ast muss sich mindestens 2,0 m unterhalb des Gipfels befinden, der dünnere Trieb soll 1/3 bis 2/3 so dick wie der dickere sein, mit einem Abgangswinkel  $< 25$  gon. 0 bedeutet kein Steilast, 1 bedeutet Vorhandensein von mindestens einem Steilast.
- Höhe Steilast: Abgangsstelle des Steilasts am Stamm (m, Genauigkeit 1 dm, gemessen mit Jalon). Bei mehreren Steilästen wurde nur die tiefste Abgangsstelle erfasst.
- Bemerkung: biotische oder abiotische Schäden werden aufgenommen, auch Schiefstand über 15 gon.
- Entfernt: 0 bedeutet nicht entfernt, 1 bedeutet entfernt.
- Vitalität: 0 bedeutet tot, 1 bedeutet lebend.
- Grund für Kandidatenwechsel: der Grund wird kurz notiert
- Konkurrenten: Distanz (m, Genauigkeit 5 cm) und Azimut (gon, Genauigkeit 1 gon) zum Konkurrenten werden vom Kandidaten aus gemessen.

## 2.4 Inventurmethode von 2014

Die Inventurmethode des Jahres 2014 beinhaltete möglichst viele mit 2003 kompatible Merkmale. Die dendrometrische Charakterisierung der Kandidaten und Ersatzkandidaten umfasste die Überprüfung ihres Status (Kandidat, nicht mehr Kandidat) sowie die Merkmale Vitalität, Baumhöhe und BHD. Zudem wurde die soziale Stellung des Kandidaten erfasst und die Anzahl entfernter Konkurrenten anhand der Schnittflächen gezählt. Die Stammqualität wurde mit den Merkmalen Inklination, Abweichung von einer geraden Stammachse, Zwiesel, Höhe Zwiesel, Steilast, Höhe Steilast erfasst, wobei hier zwei Höhenbereiche (Sektionen, 0 bis 3,0 m und 3,0 bis 6,0 m über dem Boden) unterschieden wurden. Zusätzlich wurden die neuen Merkmale Anzahl toter Äste, Anzahl lebender Äste und Anzahl abgeschnittener Äste mit Astbasisdurchmesser  $\geq 2,0$  cm in den beiden Stammsektionen erfasst.

Zur Charakterisierung der Umgebung des Kandidaten wurden rund um jeden Kandidaten zwei konzentrische Probekreise gebildet. Im kleineren Kreis mit Radius von 252 cm ( $20,0 \text{ m}^2$ ) wurden von allen Bäumen mit Höhe von mindestens 130 cm der BHD (cm) und die Baumart aufgenommen. Im zweiten Kreis (Radius = 399 cm,  $50,0 \text{ m}^2$ ) wurden BHD und Baumart jedes Baumes mit BHD  $\geq 8$  cm aufgenommen. Diese Angaben ermöglichen die Schätzung der flächenbezogenen Stammzahl und Basalfläche, wobei es sich um Werte in der Umgebung

der Kandidaten handelt und nicht um für die Versuchsfläche repräsentative Werte.

Um die Anzahl der möglichen Konkurrenten zu bestimmen, wurde ein weiterer Probekreis mit Radius von 200 cm rund um jeden Kandidaten festgelegt. Innerhalb dieses Probekreises wurden bei allen Bäumen, deren BHD den des entsprechenden Kandidaten übertraf, BHD, Distanz zum Kandidaten und die Baumart aufgenommen. Mithilfe dieser Daten und eines Indexes war es möglich, die stärksten und damit wichtigsten Konkurrenten herauszufiltern. Details zur Erhebungsmethode 2014 sind in Kneubühler & Dämpfle (2014) dokumentiert.

## 2.5 Erfassung des Pflegeaufwandes

Die Förster erfassten den Zeitaufwand für die Jungwaldpflege für jede der 16 Teilflächen und jeden Eingriff selbst. Die Zeiten sind Netto-Aufwände auf der Fläche ohne Arbeitsvorbereitung, Ferien, Krankheit etc. Sie beziehen sich auf die gesamte Versuchsfläche von 7,3 ha, nicht nur auf die Bereiche, in denen die Inventuren stattfanden.

## 2.6 Auswertungsmethoden

Für die Auswertung wurde die Statistik Software R (R Core Team, 2014) eingesetzt. Die verwendeten Packages, die nicht im Basisumfang der Software enthalten sind, sind im Anhang 5.2 erwähnt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Beschreibung der Bestände

##### 3.1.1 Stammzahl und Grundfläche

Im Jahr 2003 waren im Durchschnitt 31'296 ( $\pm 1'757$ , einfacher Standardfehler des Mittelwertes, Daten aus 16 Teilflächen von 480 Probeflächen) Bäumchen pro ha vorhanden (Kluppschwelle: 0,0 cm, d.h. ein Bäumchen musste mindestens 1,30 m hoch sein). Im Pflegeverfahren D war der Jungwald mit 42'600 ( $\pm 5'424$ , N=4) N/ha am dichtesten, in den anderen 3 Verfahren war die Stammzahl tiefer und ähnlich hoch (Tabelle 1, Abbildung 6). In Wiederholung 1 war die Stammzahl mit 52'900 ( $\pm 3'275$ , N=4) N/ha rund doppelt so gross wie in den anderen Wiederholungen (Tabelle 1), was mit der bereits vor dem Sturm vorhandenen üppigen Vorverjüngung der Buche zu erklären ist.

Im Jahr 2014 war die durchschnittliche Stammzahl mit 15'868 ( $\pm 480$ , N=4) N/ha etwa noch halb so gross wie 2003, wobei die Dichte in Pflegeverfahren D am stärksten abgenommen hatte. Die Stammzahl war in Pflegeverfahren B rund 30% höher als in den anderen Verfahren (Tabelle 1). In Wiederholung 1 war die Stammzahl 2014 immer noch am höchsten, aber weniger deutlich als 2003 (Tabelle 1). Zwischen den Pflegeverfahren variierte die Stammzahl in Wiederholung 2 am stärksten, in den Wiederholungen 1 und 4 am wenigsten (Tabelle 1, Abbildung 6).

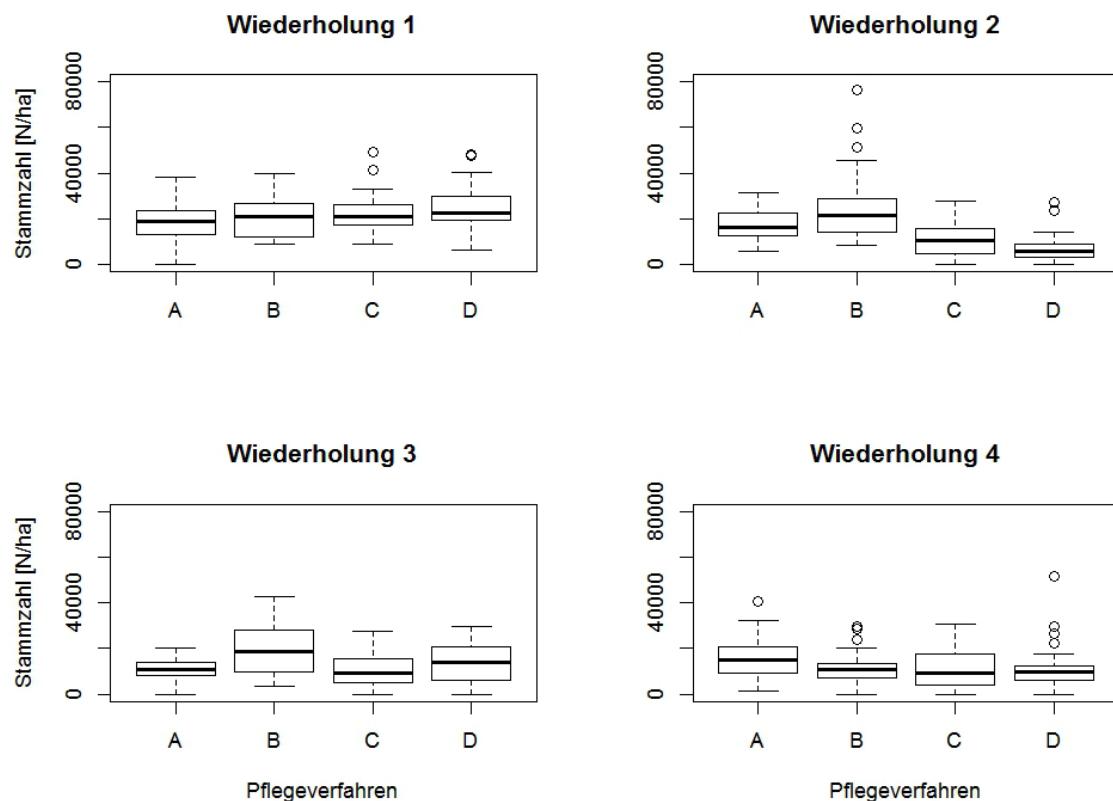


Abbildung 6. Stammzahl pro ha im Jahr 2014 im Umkreis der Kandidaten nach Wiederholungen (1, 2, 3, 4) und Pflegeverfahren (A, B, C, D). In jeder Box stellt die untere Querlinie das erste und die obere Querlinie das obere Quartil dar, die mittlere Querlinie den Median. Die vertikalen Striche reichen bis zu den minimalen bzw. maximalen Werten, wobei Werte, deren Abweichung vom Median 1,5 Mal die Interquartildistanz übersteigt, als Einzelwerte dargestellt sind. Die Abbildung basiert auf 474 Probeflächen.

Die Grundfläche des Bestandes lag 2014 bei durchschnittlich 19,6 ( $\pm 0,4$ ) m<sup>2</sup>/ha (Tabelle 1). Wie erwartet lag die Grundfläche in den bis zur Inventur unbehandelten Pflegeverfahren A und B mit 22,0 m<sup>2</sup>/ha und 22,2 m<sup>2</sup>/ha über den Werten der Varianten C und D mit 17,5 m<sup>2</sup>/ha und 16,4 m<sup>2</sup>/ha.

**Tabelle 1. Stammzahl und Grundfläche nach Pflegeverfahren (A, B, C, D) und Wiederholung (1, 2, 3, 4) im Jahr 2014. Die Zahlen in Klammern bedeuten den Standardfehler des Mittelwertes. Jeder Wert beruht auf 30 Einzelwerten.**

Pflegeverfahren/ Wiederholung	Stammzahl 2003 [N/ha]	Stammzahl 2014 [N/ha]	Grundfläche 2014 [m <sup>2</sup> /ha]
A	26'400 ( $\pm 3'061$ )	15'700 ( $\pm 732$ )	22,0 ( $\pm 0,7$ )
B	30'100 ( $\pm 2'040$ )	19'582 ( $\pm 1'097$ )	22,2 ( $\pm 0,8$ )
C	26'100 ( $\pm 2'255$ )	13'784 ( $\pm 870$ )	17,5 ( $\pm 0,7$ )
D	42'600 ( $\pm 5'424$ )	14'326 ( $\pm 1'020$ )	16,4 ( $\pm 0,7$ )
1	52'900 ( $\pm 3'275$ )	21'903 ( $\pm 827$ )	19,2 ( $\pm 0,5$ )
2	20'800 ( $\pm 1'557$ )	15'204 ( $\pm 1'078$ )	19,7 ( $\pm 0,8$ )
3	20'000 ( $\pm 1'664$ )	13'539 ( $\pm 859$ )	18,3 ( $\pm 0,8$ )
4	31'700 ( $\pm 5'316$ )	12'878 ( $\pm 820$ )	21,0 ( $\pm 0,9$ )
Mittelwert	31'297 ( $\pm 1'757$ )	15'868 ( $\pm 480$ )	19,6 ( $\pm 0,4$ )

Die Grundfläche variierte innerhalb und zwischen den 16 Teilflächen erheblich, wie die Standardfehler in Tabelle 1 zeigen. Die Variation nahm von 2004 bis 2013 deutlich ab.

### 3.1.2 Stammzahlverteilung nach Baumarten und BHD-Stufen

Die Stammzahlverteilung nach BHD-Stufen aller im Jahr 2014 erfassten Bäume zeigt ein Maximum bei Bäumchen mit 1 bis 3 cm BHD, also zahlreiche kleine Bäume, und ein wenig ausgeprägtes zweites bei solchen mit BHD von 8 bis 9 cm (Abbildung 7 rechts), wozu viele vorverjüngte Bäume gehören dürften. Die meisten Baumarten kommen in allen BHD-Stufen vor (Abbildung 7 rechts).

Unter allen 10'159 erfassten Bäumen war die Buche mit 57,6% Anteil im Jahr 2014 am häufigsten. Den zweitgrößten Anteil hatte die Hagebuche mit 14,0%, gefolgt von Fichte mit 8,2%, Esche mit 5,9%, Tanne mit 4,4%, Linde mit 2,2%, Eiche mit 2,1% und Bergahorn mit 1,7%. Weitere Baumarten hatten jeweils für sich einen Anteil unter 1%, so Kirschbaum, Ulme, Birke, Vogelbeere, Roteiche und Weidenarten. Bei den 0,1% «Anderen Nadelbäumen» handelt es sich um Föhren, Douglasien und Lärchen. 26% aller Bäumchen hatten 2014 einen BHD unter 2,0 cm, 73% einen solchen unter 5,0 cm, 97% einen unter 10,0 cm und 99,7% einen unter 15 cm.

Die Kandidaten zeigten 2014 ein BHD-Maximum bei 9 bis 10 cm, wobei die meisten (58%) zwischen 7 und 12 cm dick waren (Abbildung 7 links). Nur acht der Kandidaten waren dünner als 6 cm, wiederum acht dicker als 21 cm. Bei BHD unter 15 cm dominierten Laubbaumarten (Anteil von 75%), bei höheren BHD-Stufen (15-20 cm BHD) Nadelbaumarten (Anteil von 56%). Die durchschnittlichen Anteile der Hauptbaumarten in der Gruppe der Kandidaten waren 2014: Buche 41%, Eiche 12%, Kirschbaum 7%, Fichte 12% und Tanne 7% (mehr Details zur Baumartenzusammensetzung der Kandidaten in Kapitel 3.2.1).

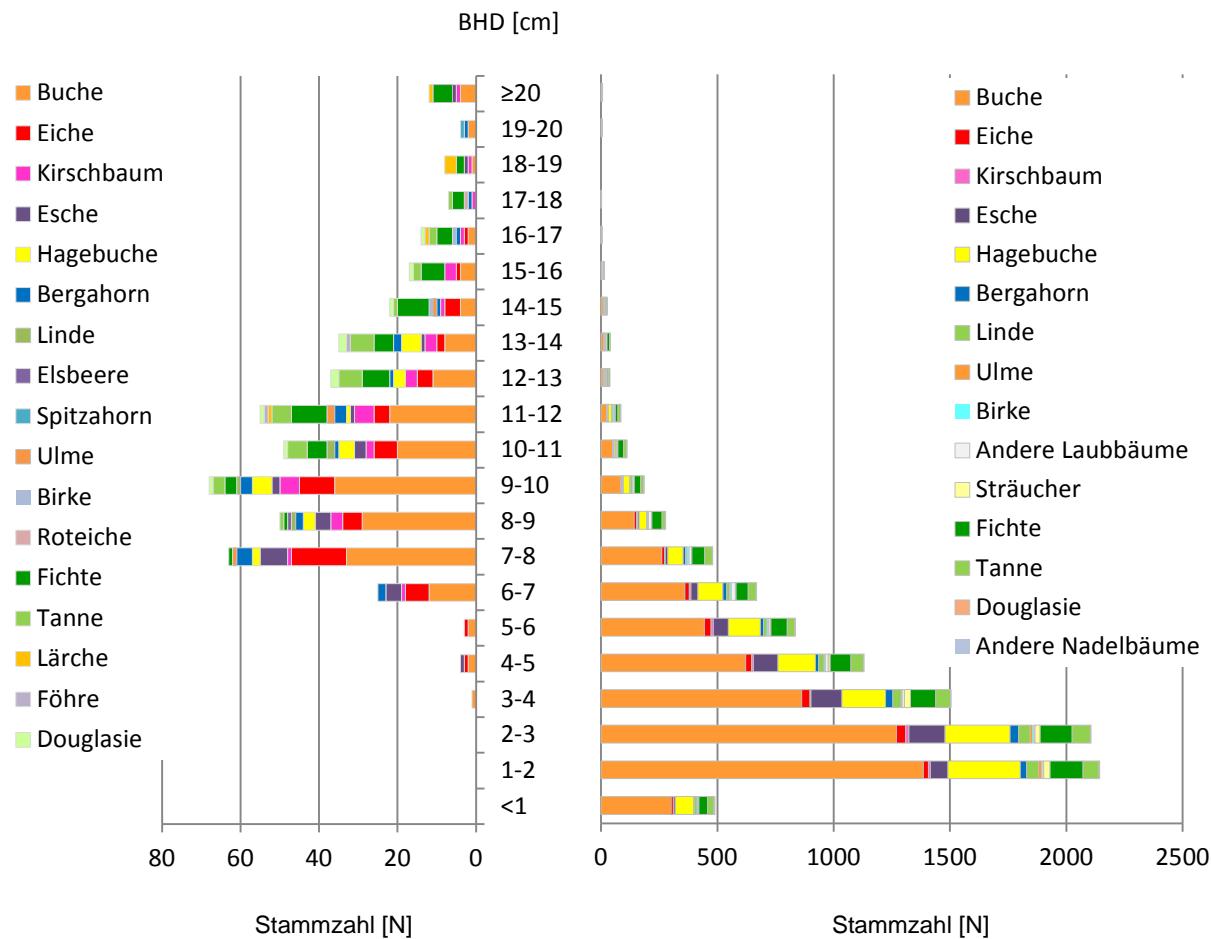


Abbildung 7. Stammzahlverteilung in BHD-Stufen aller Gehölze über alle Pflegeverfahren und Wiederholungen der Kandidaten (links) und aller Bäume (rechts) im Jahr 2014. Bäume mit BHD < 1 cm wurden nur teilweise erfasst.

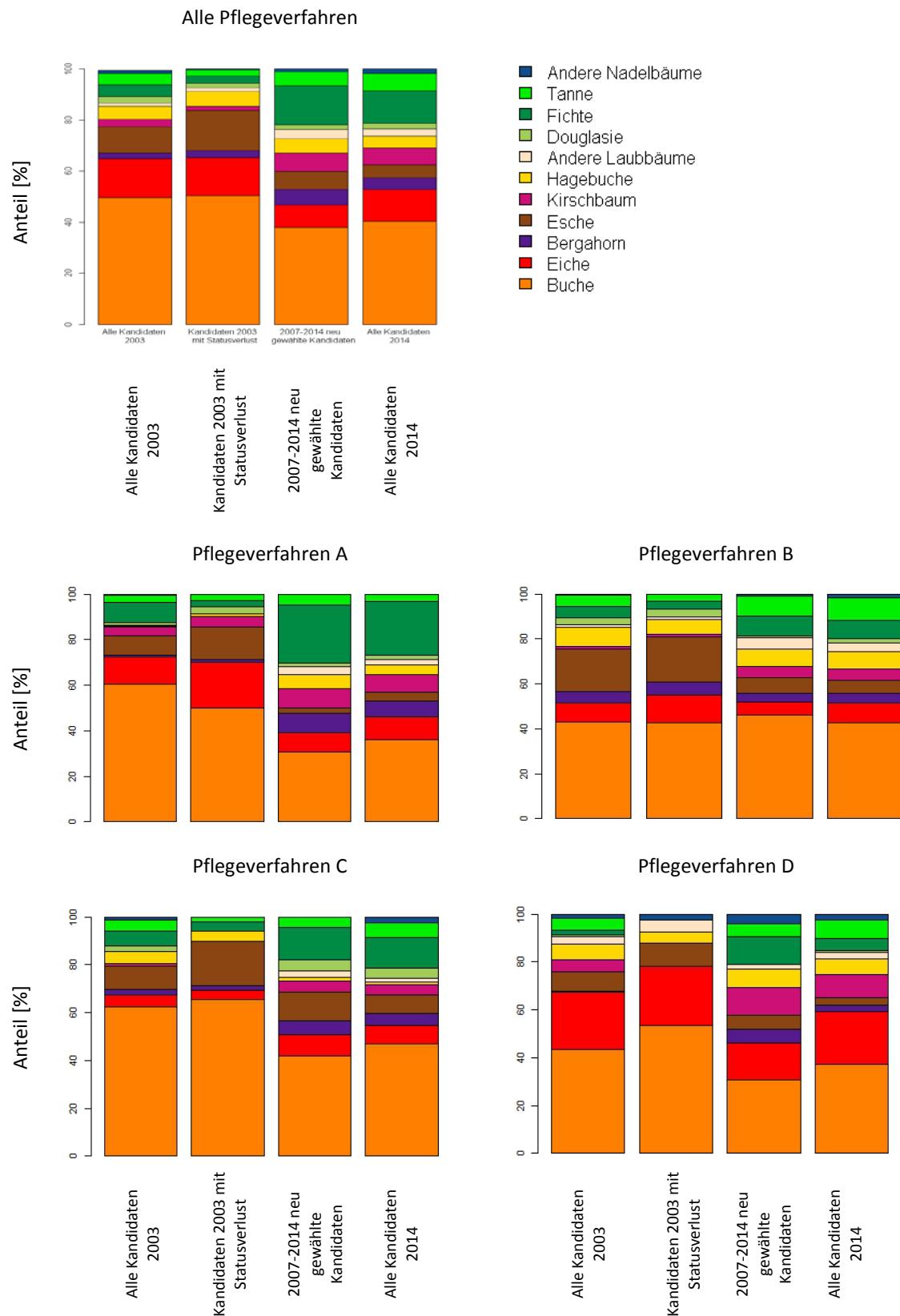
## 3.2 Kandidaten

### 3.2.1 Entwicklung der Baumartenzusammensetzung

Die Baumartenzusammensetzung der Kandidaten (Abbildung 8) wichen erheblich von derjenigen aller Bäume ab (Abbildung 7 rechts). Unter den Kandidaten waren im Jahr 2003 Hagebuchen stark untervertreten, Buchen leicht untervertreten, Eichen und Eschen hingegen stark untervertreten. Bei den Kandidaten, die ihren Status von 2003 bis 2014 verloren, waren Eschen besonders stark vertreten, unter den zwischen 2007 und 2014 neu gewählten Kandidaten hingegen Bergahorne, Kirschbäume, Fichten und Tannen.

Das Bestockungsziel auf der gesamten Fläche war im Jahr 2014 bei der Buche (ca. 40 %) erreicht; übervertreten waren Hagebuche (5% statt 0%), Kirschbaum (7% statt 0%) und die Nadelbaumarten Föhre, Douglasie, Fichte und Tanne (zusammen 25% statt 20%). Untervertreten waren Eichen (15% statt 20%) und Eschen (6% statt 10%).

Mit 193 Kandidaten war die Buche im Jahr 2014 am häufigsten (Tabelle 2). Ihre Häufigkeit war in den vier Pflegeverfahren mit Anteilen zwischen 36% und 47% ähnlich (Abbildung 8), aber in Wiederholung 1 deutlich grösser als in den übrigen Wiederholungen (Tabelle 2). Fichte mit 59 und Eiche mit 58 Kandidaten waren die zweit- und dritthäufigsten Kandidatenbaumarten. Die Fichte war in Pflegeverfahren A mit 24% Anteil deutlich häufiger als in den



**Abbildung 8. Baumartenzusammensetzung der Kandidaten im Jahr 2014 nach Status (a) auf der Gesamtfläche und (b) nach Pflegeverfahren.**

übrigen Pflegeverfahren, die Eiche im Pflegeverfahren D, bei einem Anteil von 22%. Viele Baumarten waren ungleich über die Pflegeverfahren und Wiederholungen verteilt.

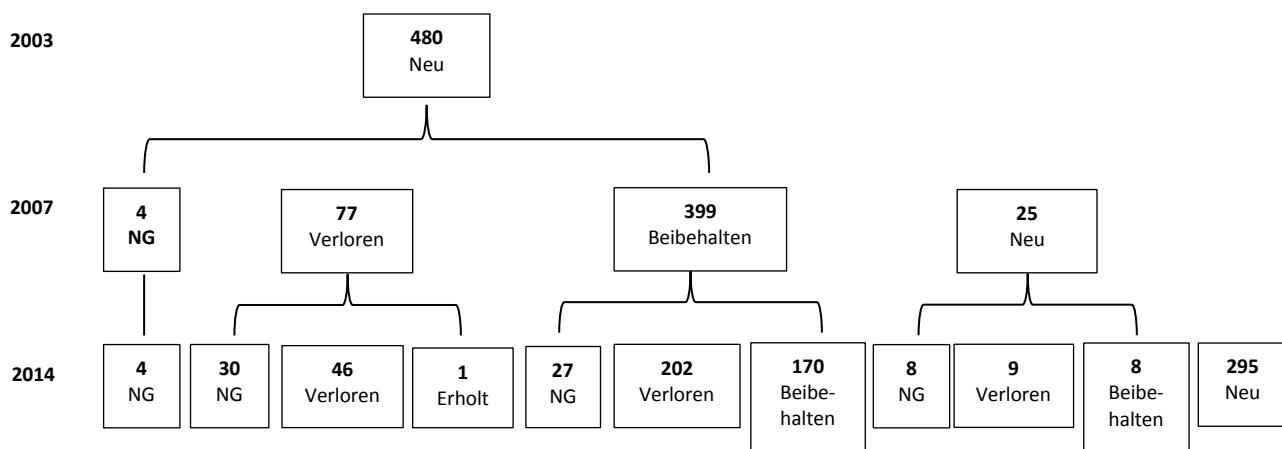
Im Folgenden werden zunächst die Entwicklung der 2003 ausgewählten Kandidaten dargestellt und danach die Charakteristiken der aktuellen Kandidaten.

**Tabelle 2. Häufigkeit der Baumarten der Kandidaten im Jahr 2014 nach Pflegeverfahren und Wiederholungen. Unter «Übrige» sind folgende Baumarten zusammengefasst: Birke, Elsbeere, Föhre, Linde, Roteiche, Spitzahorn, Ulme, Weide.**

Baumart	Total	Pflegeverfahren				Wiederholung			
		A	B	C	D	1	2	3	4
Buche	193	43	51	55	44	77	38	46	32
Fichte	59	28	10	15	6	4	24	4	27
Eiche	58	12	11	9	26	7	19	12	20
Tanne	32	4	12	7	9	1	3	19	9
Kirschbaum	31	9	6	5	11	13	4	9	5
Esche	25	5	7	9	4	11	4	7	3
Hagebuche	23	5	9	1	8	3	12	4	4
Bergahorn	23	8	5	6	3	0	9	6	7
Douglasie	10	2	2	5	1	0	0	6	4
Übrige	20	3	7	5	6	1	9	4	7
Total	474	119	120	117	118	117	122	117	118

### 3.2.2 Entwicklung der 2003 ausgewählten Kandidaten

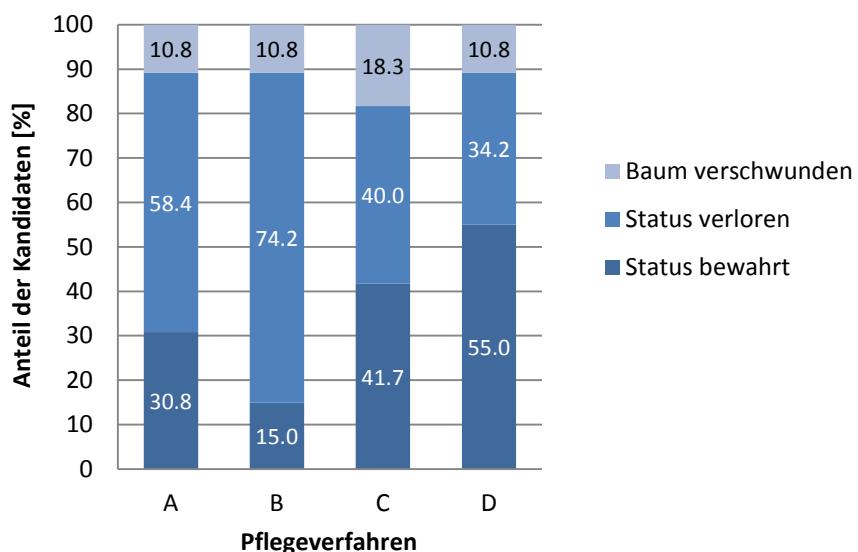
Von den 480 im Jahr 2003 bestimmten Kandidaten wurden im Jahr 2014 419 wieder gefunden, wogegen 61 verschwunden waren (Bezeichnung «NG» in Abbildung 9, 4+30+27). 248 (46+202) Kandidaten verloren ihren Status als Kandidat, 171 Kandidaten (170 + einer, der sich erholte) behielten ihn. Bei 6 Bäumen war die Geschichte in der Datenbank nicht eindeutig nachvollziehbar, weshalb sie gelöscht wurden. Daher kann die Geschichte von 480 - 6 = 474 Kandidaten ab 2003 nachvollzogen werden, von denen 171 schon 2003 bestimmt worden waren, 303 hingegen zwischen 2007 und 2014 (Abbildung 9).



**Abbildung 9. Statusentwicklung der ausgewählten in 2003 Kandidaten im Jahr 2007 und 2014 nach Kategorien: «Neu» (neu ausgewählt) «NG» (nicht gefunden), «Verloren» (Status im Untersuchungszeitraum verloren), «Beibehalten» (Status im Untersuchungszeitraum beibehalten), «Erholt» (Status zurückgewonnen).**

Im Jahr 2007 wurden 25 Kandidaten neu bestimmt; es wurden also nicht alle 81 (4 + 77) Kandidaten mit Statusverlust ersetzt. Von den im Jahr 2014 vorhandenen 474 Kandidaten wurden 171 im Jahr 2003 bestimmt, 8 im Jahr 2007 und 295 im Jahr 2014.

Im Jahr 2014 hatten in Pflegeverfahren A 31% der Kandidaten ihren Status vom Jahr 2003 bewahrt, in Verfahren B nur 15%, in Verfahren C 42% und in Verfahren D 55% (Abbildung 10). Nimmt man die Verfahren A und B zusammen, waren es 23%. Insgesamt hatten 35% der ursprünglich bestimmten Kandidaten ihren Status bewahrt.



**Abbildung 10. Statusentwicklung der Kandidaten von 2003 bis 2014 nach Pflegeverfahren. Zur Kategorie «Baum verschwunden» zählen alle Kandidaten, die nicht mehr als solche zu erkennen waren oder deren Plakette/Markierung verloren gegangen war.**

Um die bestimmenden Faktoren der Statusentwicklung von 2003 bis 2014 zu erklären, wurden logistische Regressionsmodelle geschätzt: Ein vollständiges Modell einschliesslich Variablen, die in der Praxis nicht zur Verfügung stehen (z.B. Durchmesserzuwachs), und ein reduziertes Modell nur mit Informationen, welche 2003 zur Verfügung standen. Als erklärende Variablen wurden berücksichtigt:

- Baumart
- Zugehörigkeit zur Wiederholung 1, die sich durch starke Buchenvorverjüngung von den anderen Wiederholungen unterscheidet
- Pflegeverfahren, wobei die Verfahren A und B, die bis 2014 gleich behandelt worden waren, als Kontrolle codiert wurden
- Anzahl Konkurrenten im Jahr 2003 im Umkreis um den Kandidaten
- Soziale Stellung 2007, umcodiert zu vorherrschend (N=114), herrschend (N=207, enthält auch mitherrschende Bäume) und unterdrückt (N=150, enthält auch beherrschte Bäume). [2003 nicht bestimmt, weil viele Bäume noch zu klein waren]
- Stammdurchmesser 2003
- Durchschnittlicher jährlicher Durchmesserzuwachs 2003-2007, einfach und quadriert
- Baumhöhe 2003
- Durchschnittlicher jährlicher Höhenzuwachs 2003-2007, einfach und quadriert

- Schlankheitsgrad, gemessen 2003
- Stammqualität 2007 (gut, schlecht)
- Stammzahl pro ha 2003
- Vegetationsdeckungsgrad 2003
- Deckungsgrad von Brombeeren 2003

Neben den einfachen Variablen wurden Wechselwirkungen geprüft: Pflegeverfahren  $\times$  soziale Stellung, Pflegeverfahren  $\times$  Stammqualität, soziale Stellung  $\times$  Stammqualität. Erklärende Variablen wurden mit einem automatischen Verfahren der Variablenelektion integriert. Nicht mehr gefundene Bäume wurden solchen mit Statusverlust gleichgesetzt.

Hier präsentieren wir das Regressionsmodell zur Erklärung der Statusentwicklung ohne üblicherweise nicht verfügbare Variablen (Tabelle 3 und Tabelle 4). Signifikante Einflussgrößen waren die Baumart, die soziale Stellung, das Pflegeverfahren, die Anzahl Konkurrenten 2003 und der Schlankheitsgrad 2003.

**Tabelle 3. Logistische Regressionsmodelle zur Erklärung der Statusentwicklung von 2003 bis 2014, mit der Modellverbesserung bei Hinzufügen erklärender Variablen von oben nach unten. FG = Freiheitsgrade**

Faktor	FG	Devianz	Residuale FG	Residuale Devianz	p-Wert
NULL			415	551.4	
Baumart	10	48.5	405	502.9	4.926e-07
Soziale Stellung	2	113.0	403	389.9	< 2.2e-16
Pflegeverfahren	2	29.7	401	360.1	3.476e-07
Anzahl Konkurrenten 2003	1	4.9	400	355.2	0.02686*
Schlankheitsgrad 2003	1	8.2	399	347.0	0.00419

**Tabelle 4. Koeffizienten des Modells in Tabelle 3 zur Erklärung der Statusentwicklung von 2003 bis 2014. ¶ im Vergleich zur Buche; \* im Vergleich zu vorherrschenden Bäumen; # im Vergleich zum Pflegeverfahren D. Faktoren bzw. Faktorstufen mit signifikanten Effekten sind grau unterlegt.**

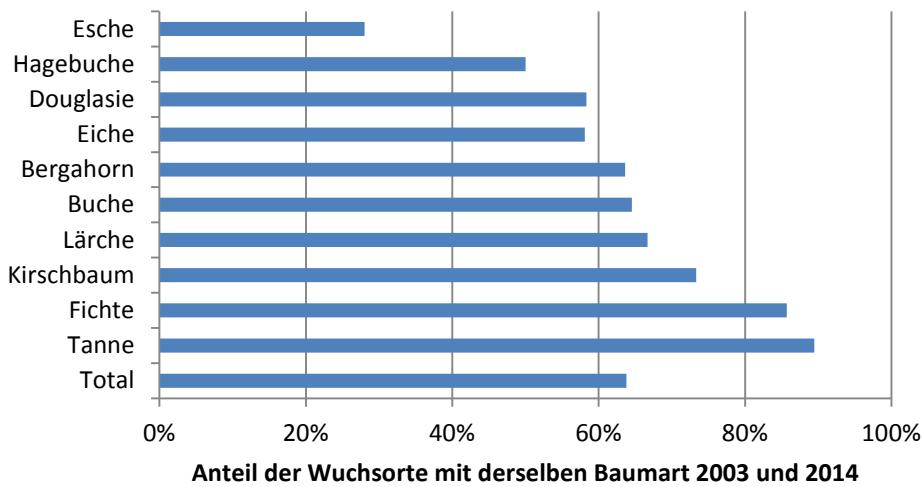
Faktor	Koeffizient	Standardfehler	p-Wert
(Intercept)	3.74	0.67	2.38e-08
Baumart Bergahorn¶	0.90	0.90	0.323
Baumart Douglasie¶	-0.15	1.47	0.919
Baumart Eiche¶	1.56	0.44	0.000
Baumart Esche¶	-1.88	0.59	0.001
Baumart Fichte¶	1.07	0.60	0.074
Baumart Hagebuche¶	-1.52	0.69	0.028
Baumart Kirschbaum¶	1.88	0.85	0.026
Baumart Lärche¶	2.32	1.66	0.163
Baumart übrige¶	-0.84	1.39	0.546
Baumart Tanne¶	1.79	0.76	0.019
Soziale Stellung herrschend*	-1.66	0.32	2.79e-07
Soziale Stellung mitherrschend*	-3.58	0.52	4.78e-12
Pflegeverfahren A und B#	-2.17	0.38	7.03e-09
Pflegeverfahren C#	-1.18	0.38	0.002
Anzahl Konkurrenten 2003	-0.29	0.11	0.006
Schlankheitsgrad 2003	-0.001	0.002	0.007

Die Koeffizienten in Tabelle 4 geben Hinweise auf die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kandidat den Status behält. Bei positivem Koeffizienten ist diese Wahrscheinlichkeit im Vergleich zur Buche erhöht, bei negativem Koeffizienten vermindert. Eine im Vergleich zur Buche signifikant erhöhte Wahrscheinlichkeit, den Status als Kandidat zu behalten, hatten Kirschbäume, Tannen und Eichen, eine verminderte Hagebuchen und Eschen. Sehr deutlich war der Effekt der sozialen Stellung: im Vergleich zu vorherrschenden Bäumen bewahrten herrschende Bäume ihren Kandidatenstatus wesentlich seltener, und beherrschte noch einmal seltener.

Intensivere Pflege erhöhte die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kandidat seinen Status behält. Im Verfahren C (ein Pflegeeingriff 2007) behielten Kandidaten ihren Status seltener als im Verfahren D (Eingriffe 2003, 2007, 2011, 2013). In der Kontrolle ohne Eingriffe verloren die Kandidaten ihren Status noch häufiger.

### 3.2.3 Baumartenwechsel und Kandidatenentwicklung

In dieser Analyse geht es um die Frage, ob sich die Baumartenzusammensetzung der Kandidaten von 2003 bis 2014 änderte, egal ob die Bäume 2014 dieselben sind wie 2003. An jedem Ort, an dem 2003 ein Kandidat bestimmt wurde, kann 2014 die Baumart noch dieselbe sein, weil der ursprüngliche Kandidat seinen Status bewahrte oder weil er durch einen anderen Kandidaten derselben Baumart ersetzt wurde, oder sie kann sich geändert haben, weil der ursprüngliche Kandidat seinen Status verlor und durch einen Kandidaten einer anderen Baumart ersetzt wurde. Wir untersuchen hier zuerst, wie sich die Konstanz am einzelnen Wuchsorstand veränderte und weshalb und danach, ob sich die Vielfalt der Baumarten veränderte. Dazu stehen insgesamt 472 Kandidaten zur Verfügung (Tabelle 5).



**Abbildung 11. Anteil der Wuchsorte mit derselben Baumart 2003 und 2014 pro Baumart.** Die Abbildung beruht auf 465 Kandidaten; ausgeschlossen wurden 7 Kandidaten, die 2003 keine der aufgeführten Baumarten aufwiesen.

Die Konstanz der Baumarten am einzelnen Wuchsorstand lag insgesamt bei 64% (Abbildung 11). Nach 11 Jahren stand also an 36% der Wuchsorste ein Kandidat einer anderen Baumart als 2003. Am grössten war die Konstanz bei Fichte und Tanne mit über 80%, am geringsten bei Esche mit 28%. Unter den Baumarten der Kandidaten gab es Gewinner und Verlierer (Abbildung 12). Mindestens doppelt so häufig wie 2003 waren 2014 Fichten, übrige Baumarten, Kirschbäume und Bergahorne. Auch die Tanne konnte 68% zulegen. Etwa gleich häufig wie 2003 waren Hagebuchen und Lärchen. Seltener waren Douglasien mit 83% des Wertes von 2003, Buchen mit 81%, Eichen mit 78% und Eschen mit 50%.

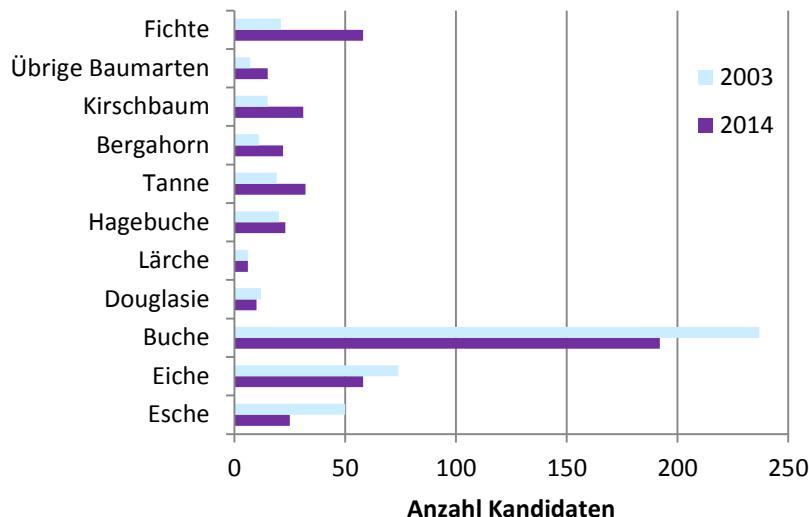


Abbildung 12. Absolute Häufigkeit der Baumarten unter den Kandidaten 2003 und 2014, geordnet nach abnehmendem Verhältnis der Werte 2014 zu 2003. Die Abbildung beruht auf 472 Kandidaten.

Zur Durchführung einer statistischen Analyse zur Baumartenkonstanz der Kandidaten wurden die Baumarten zu den drei Gruppen Buchen und Hagebuchen, Eichen und andere Baumarten aggregiert (Tabelle 6). Mit einer logistischen Regression wurde untersucht, welche Faktoren den Wechsel von Buchen und Hagebuchen zusammen zu anderen Baumarten bestimmen. Die Modellkoeffizienten besagen, dass ein Beibehalten der Baumart bei grossem BHD und bei Lage in der Wiederholung 1 wahrscheinlicher ist. Der Effekt des BHD ist dabei wesentlich stärker, der p-Wert des Effekts der Vorverjüngung unterschreitet die Signifikanzschwelle von 0,05 nur knapp (Tabelle 7). Ein analoges Modell wurde zum Wechsel aller Kandidaten geschätzt, die 2003 weder Buche noch Hagebuche waren (Tabelle 8). Kandidaten

Tabelle 5. Konstanz der Baumart pro Ort von 2003 bis 2014. Lesebeispiel (hellgelb): An den 11 Orten, an denen im Jahr 2003 ein Bergahorn als Kandidaten ausgewählt worden war, stand 2014 in einem Fall eine Buche, in 7 Fällen ein Bergahorn (derselbe wie 2003 oder ein anderer) und in 3 Fällen eine Fichte.

		Baumart 2014										Total		
		Buche	Bergahorn	Douglasie	Eiche	Esche	Fichte	Hagebuche	Kirschbaum	Lärche	Tanne			
Baumart 2003	Buche	153	7	2	10	8	17	5	15	2	8	10	237	
	Bergahorn	1	7	-	-	-	3	-	-	-	-	-	11	
	Douglasie	1	-	7	-	-	2	1	-	-	1	-	12	
	Eiche	8	4	1	43	1	12	-	1	-	3	1	74	
	Esche	19	3	-	3	14	2	4	3	-	2	-	50	
	Fichte	3	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	21	
	Hagebuche	2	-	-	1	1	4	10	1	-	1	-	20	
	Kirschbaum	2	-	-	-	1	-	1	11	-	-	-	15	
	Lärche	1	-	-	-	-	-	1	-	4	-	-	6	
	Tanne	-	1	-	-	-	-	-	-	-	17	1	19	
	Übrige	2	-	-	1	-	-	1	-	-	-	3	7	
		Total	192	22	10	58	25	58	23	31	6	32	15	472

behielten ihren Status seltener im Pflegeverfahren Kontrolle, im Vergleich zur intensiven Pflege des Verfahrens D, bei schlechter Stammqualität und wiederum bei Lage in der Wiederholung 1.

Die Baumartenvielfalt der Kandidaten in den 16 Teilparzellen lag 2014 bei 7,1 Baumarten (Abbildung 13) und variierte zwischen den Pflegeverfahren nicht. In Wiederholung 1, welche durch buchenreiche Vorverjüngung herausstach, war die Anzahl Baumarten unter den Kandidaten tendenziell reduziert. Die Abnahme der Baumartenzahl von 2003 und 2014, die im Mittel bei -1,3 Arten pro Teilparzelle lag, war in den Pflegeverfahren A (-1,8) und B (-1,3) tendenziell grösser als in den Verfahren C und D (je -1,0).

**Tabelle 6. Zusammenfassung der Baumartenwechsel zur statistischen Modellierung der Baumartenwechsel.**  
Die Werte sind eine Zusammenfassung der Werte in Tabelle 5.

		Baumart 2014			Total
		Buche und Hagebuche	Eiche	Andere Baumarten	
Baumart 2003	Buche und Hagebuche	170	11	76	257
	Eiche	8	43	23	74
	Andere Baumarten	37	4	100	141
Total		215	58	199	472

**Tabelle 7. Logistische Regressionsmodelle zur Erklärung von Baumartenwechseln von Buche und Hagebuche (aggregiert) von 2003 bis 2014, mit der Modellverbesserung bei Hinzufügen erklärender Variablen von oben nach unten. N = 243, nach Ausschluss von Kandidaten, die 2003 weder Buchen noch Hagebuchen waren, und solchen mit fehlendem BHD 2003. Die Koeffizienten waren: Intercept  $-0.29 \pm 0.27$ , BHD  $0.53 \pm 0.17$ , Vorverjüngung  $0.62 \pm 0.31$ .**

Faktor	FG	Devianz	Residuale FG	Residuale Devianz	p-Wert
NULL			243	311.5	
BHD	1	16.9	242	294.7	4.025e-05
Vorverjüngung	1	4.1	241	290.6	0.04305

**Tabelle 8. Logistische Regressionsmodelle zur Erklärung von Baumartenwechseln von anderen Baumarten (aggregiert, inkl. Eichen) von 2003 bis 2014, mit der Modellverbesserung bei Hinzufügen erklärender Variablen von oben nach unten. N = 176, nach Ausschluss von Kandidaten, die 2003 Buchen oder Hagebuchen waren, und solchen mit fehlendem BHD 2003. Die Koeffizienten waren: Intercept  $2.88 \pm 0.57$ , Pflegeverfahren Kontrolle (im Vergleich zu Verfahren D)  $-1.49 \pm 0.56$  ( $p=0.0079$ ), Pflegeverfahren C (im Vergleich zu Verfahren D)  $-0.09 \pm 0.74$  ( $p=0.9021$ ), Schlechte Stammqualität 2007  $-1.22 \pm 0.42$  ( $p=0.0042$ ), Vorverjüngung  $-1.32 \pm 0.56$  ( $p=0.0196$ ).**

Faktor	FG	Devianz	Residuale FG	Residuale Devianz	p-Wert
NULL			176	181.5	
Pflegeverfahren	2	9.1	174	172.4	0.0105
Stammqualität 2007	1	6.1	173	166.3	0.0136
Vorverjüngung	1	5.1	172	161.2	0.0234

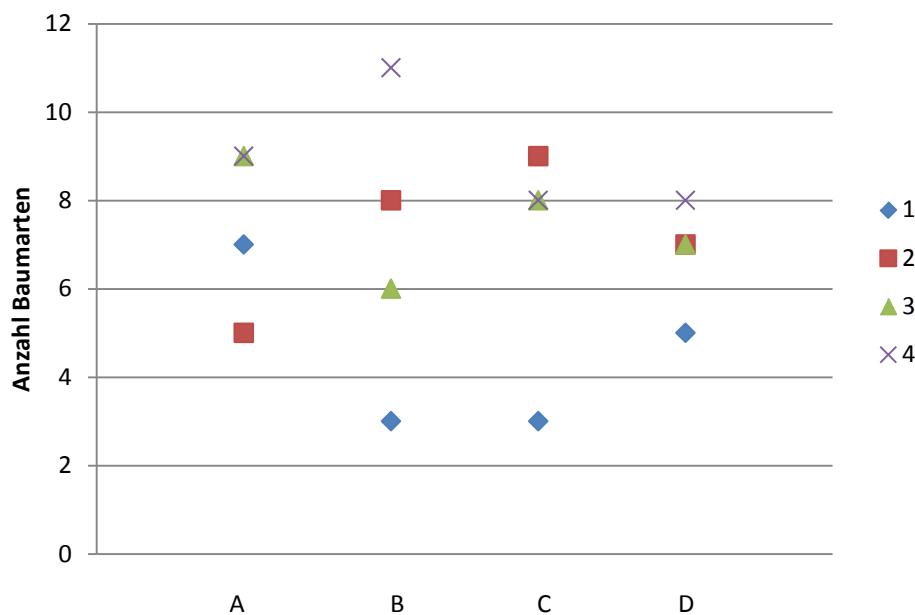


Abbildung 13. Anzahl der Baumarten der Kandidaten 2014 in den 16 Teilparzellen. A-D: Pflegeverfahren, 1-4: Wiederholungen.

### 3.2.4 Dimension der Kandidaten 2014

Die Abhängigkeiten der Baumdimension der Kandidaten (Baumhöhe, BHD im Jahr 2014, Schlankheitsgrad) wurden mittels linearen gemischten Modellen mit den fixen Faktoren Pflegeverfahren und Baumart und dem Zufallseffekt Wiederholung geprüft.

Die mittlere Höhe der 474 Kandidaten im Jahr 2014 betrug  $10,7 \text{ m} (\pm 0,2 \text{ m})$ . Der Median der Höhen lag je nach Baumart zwischen  $9,6$  und  $11,7 \text{ m}$  (Abbildung 14a). In Pflegeverfahren A betrug sie  $10,7 \pm 0,2 \text{ m}$ , in Pflegeverfahren B  $11,2 \pm 0,3 \text{ m}$ , in Pflegeverfahren C  $10,7 \pm 0,3$  und in Pflegeverfahren D  $9,9 \pm 0,3 \text{ m}$ . Der Einfluss der Pflegeverfahren war signifikant (lineares gemischtes Modell, nicht dargestellt), aber mit einem Höhenunterschied von ca.  $1,2 \text{ m}$  zwischen den Varianten B (mit den durchschnittlich höchsten Bäumen) und D (mit den kleinsten Bäumen) nur gering. Auch zwischen den Blöcken ergaben sich keine Unterschiede. Signifikant hing die Baumhöhe hingegen von der Baumart ab: Signifikant höher als die Buche waren Bergahorn ( $p=0,0001$ ), Birke ( $p=0,0071$ ), Lärche ( $p=0,0008$ ) und Kirschbaum ( $p=0,0397$ ), kleiner waren hingegen Douglasie ( $p=0,0397$ ), Eiche ( $p=0,0007$ ) und Tanne ( $p=0,0020$ ) (Abbildung 14a). Die Maximalhöhe von  $17,2 \text{ m}$  wies eine Buche auf.

Der mittlere BHD der Kandidaten im Jahr 2014 betrug  $11,1 \text{ cm} (\pm 0,3 \text{ cm})$ , der Median pro Baumart lag zwischen  $8,4$  und  $13,0 \text{ cm}$  (Abbildung 14b). Die Pflegeverfahren beeinflussten den BHD der Kandidaten nicht signifikant und auch zwischen den Wiederholungen ergaben sich keine Unterschiede (lineares gemischtes Modell, nicht dargestellt). Buchen gehörten mit durchschnittlich  $9,8 \text{ cm}$  zu den Baumarten mit den dünnsten Stämmen, Birken ( $p=0,0172$ ), Douglasien ( $p=0,0058$ ), Fichten ( $p<0,0001$ ), Kirschbäume ( $p=0,0001$ ), Lärchen ( $p<0,0001$ ), Roteichen ( $p=0,0327$ ), Spitzahorne ( $p=0,0045$ ) und Tannen ( $p=0,0001$ ) hatten signifikant höhere BHDs, am dünnsten (aber nicht signifikant von Buchen verschieden) waren Elsbeeren, gefolgt von Eschen.

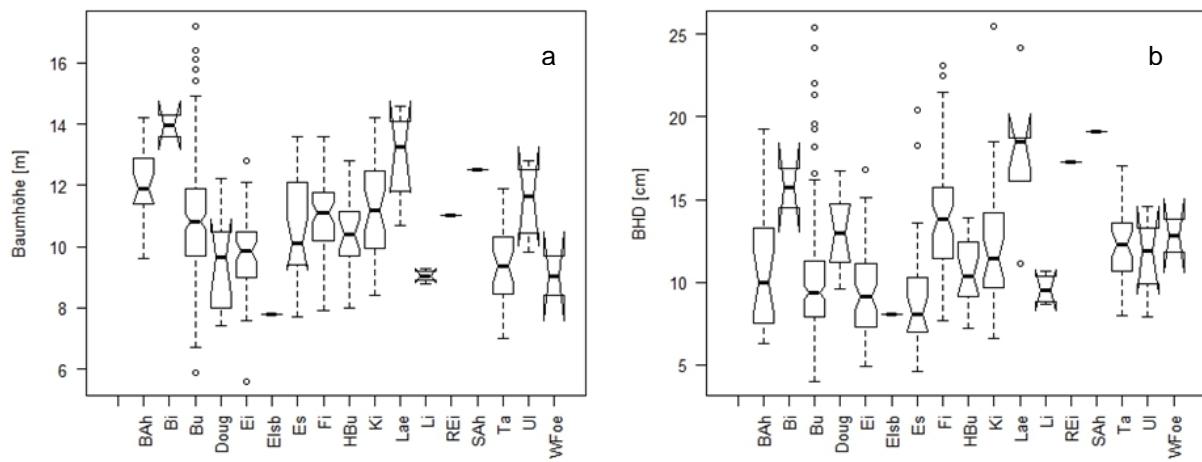


Abbildung 14. Höhe (a) und BHD (b) der Kandidaten nach Baumart im Jahr 2014.

Der Schlankheitsgrad aller Kandidaten war im Durchschnitt 103. Das Pflegeverfahren hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Schlankheitsgrad (gemischtes lineares Modell, nicht dargestellt). Die niedrigsten Schlankheitsgrade hatten bei den häufigen Baumarten die Kiefernen Douglasie ( $p<0,0001$  beim Vergleich mit der Buche), Lärche ( $p=0,0001$ ), Tanne ( $p<0,0001$ ), Fichte ( $p<0,0001$ ) sowie der Kirschbaum ( $p=0,0001$ ); stämmiger als Buchen waren Hagebuchen ( $p=0,0092$ ), Roteichen ( $p=0,0391$ ) und Föhren ( $p=0,0099$ ). Nur Eschen und Bergahorne waren schlanker als Buchen (nicht signifikant, Abbildung 15).

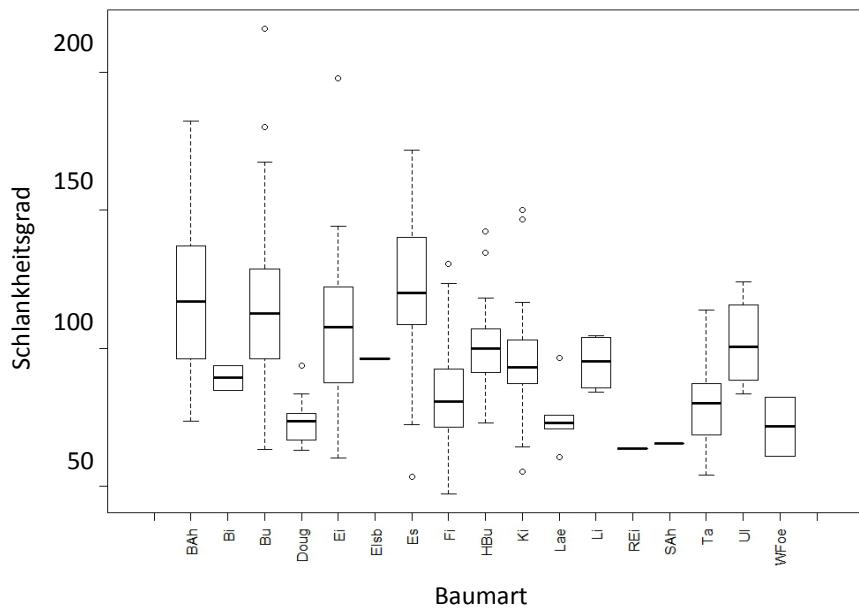


Abbildung 15. Schlankheitsgrad der Kandidaten nach Baumart im Jahr 2014.

Der mittlere jährliche Durchmesserzuwachs von 2003 bis 2014 lag bei allen Kandidaten bei 0,78 cm (Tabelle 9). Bei Kandidaten, die ihren Status bewahrten, war er in der Regel fast doppelt so gross wie bei solchen, die ihn verloren. Dies galt auch für die Baumarten Buche, Eiche und Esche für sich. Kandidaten, die ihren Status bewahren konnten, hatten aber schon 2003 dickere Stämmchen als solche, die ihn verloren.

**Tabelle 9. BHD 2003 und BHD-Zuwachs von 2003 bis 2014 nach Baumart und Statusentwicklung. Beim BHD-Zuwachs 2003-2014 ist das 95%-Konfidenzintervall angegeben.**

Baumart	Status-entwicklung	Anzahl Bäume	BHD 2003 [cm]	BHD-Zuwachs 2003-2014 [cm] ( $\pm$ CI)
Alle	bewahrt	171	1,7	0,78 ( $\pm$ 0,02)
	verloren	248	1,2	0,46 ( $\pm$ 0,02)
Buche	bewahrt	77	1,9	0,65 ( $\pm$ 0,02)
	verloren	127	1,3	0,45 ( $\pm$ 0,02)
Eiche	bewahrt	31	0,7	0,75 ( $\pm$ 0,04)
	verloren	37	0,4	0,49 ( $\pm$ 0,04)
Esche	bewahrt	38	1,9	0,76 ( $\pm$ 0,22)
	verloren	40	1,3	0,35 ( $\pm$ 0,03)

### 3.2.5 Stammqualität der Kandidaten 2014

Von den 474 Kandidaten wiesen im Jahr 2014 288 (61%) keinen Qualitätsmangel auf, ihre Stämme waren also von guter bis sehr guter Qualität. Der Anteil der Kandidaten ohne Qualitätsmangel war bei Douglasie, Tanne, Lärche und Fichte am höchsten, wogegen bei Eiche, Buche und Hagebuche nur rund 40-50% der Bäume frei von Qualitätsmängeln waren (Abbildung 16). Unter den Qualitätsmängeln am häufigsten waren Zwiesel, die an 106 (22%) Kandidaten auftraten. Steiläste wiesen 76 Kandidaten (16%) auf. Schiefstand (Abweichung von über 10 Gon von der Lotrechten) trat nur an vier Kandidaten auf. Äste sind hier nicht berücksichtigt.

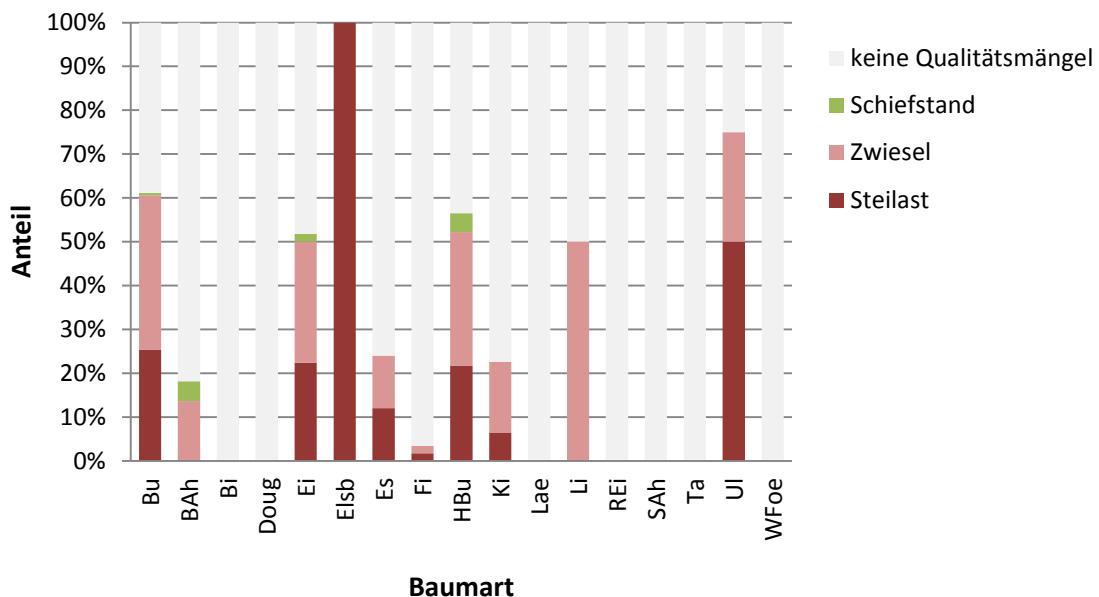
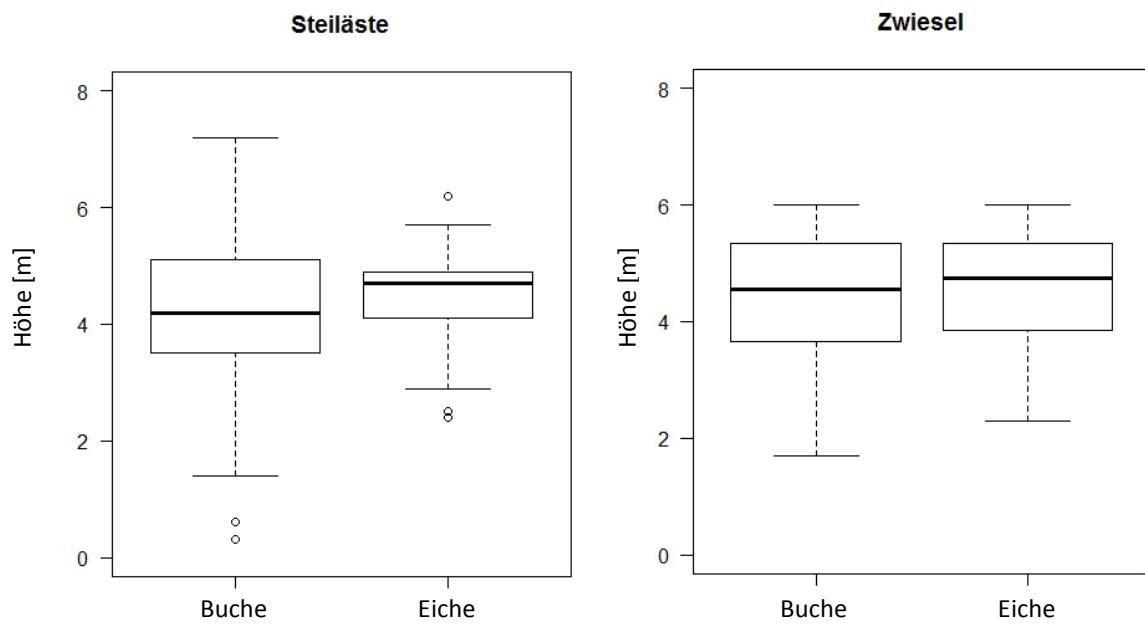


Abbildung 16. Anteil von Kandidaten mit Defekten der Stammqualität nach Baumart im Jahr 2014.

Die mittlere Ansatzhöhe von Zwieseln bei Buchen war 4,45 ( $\pm$  0,13) m, bei Eichen 4,53 ( $\pm$  0,26) m (Abbildung 17). Der Unterschied war statistisch nicht signifikant (T-Test,  $p=0,80$ ). Die mittlere Ansatzhöhe von Steilästen lag bei Buchen bei 4,13 ( $\pm$  0,20) m, bei Eichen bei 4,35 ( $\pm$  0,31) m. Auch dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant (T-Test,  $p = 0,59$ ).



**Abbildung 17. Ansatzhöhe von Steilästen und Zwieseln bei Buche und Eiche.**

Die Abweichung von einer geraden Stammachse betrug gemittelt über alle Kandidaten in der Stammsektion von 0 bis 3 m über Boden 5,1 ( $\pm 0,2$ ) cm, mit einer Wertebereich von 0 ... 26 cm. In der oberen Stammsektion von 3 bis 6 m war die mittlere Abweichung mit 6,7 ( $\pm 0,4$ ) cm etwas grösser, was auch auf den Wertebereich von 0 ... 70 cm zutraf. Erwartungsgemäss wiesen die Laubbaumarten im Vergleich zu Fichte und Tanne erheblich stärkere Abweichungen auf; bei Buche war die mittlere Abweichung in der Stammsektion von 0 bis 3 m über Boden 6,0 ( $\pm 0,3$ ) cm, bei Eiche 6,5 ( $\pm 0,4$ ) cm, bei Fichte 1,9 ( $\pm 0,5$ ) cm und bei Tanne 1,8 ( $\pm 0,6$ ) cm.

In der Sektion von 0 bis 3 m Stammhöhe wiesen 41,4% der Kandidaten im Jahr 2014 lebende Äste mit Durchmesser an der Astbasis  $\geq 2$  cm auf, 27,0% tote Äste, und an 10,3% der Kandidaten waren Äste mit Basisdurchmesser  $\geq 2$  cm abgeschnitten worden. In 3 bis 6 m Höhe am Stamm waren bei 74,5% der Kandidaten lebende und bei 13,1% tote Äste mit Basisdurchmesser  $\geq 2$  cm vorhanden. Die Mehrzahl der Kandidaten mit Ästen  $\geq 2$  cm wies nur einen oder zwei Äste des entsprechenden Durchmessers auf (Abbildung 18). Dies galt für lebende und tote Äste, und in der Mehrzahl der Fälle wurden nur ein oder zwei Äste dieser Stärke pro Kandidat abgeschnitten. Unter den Baumarten mit wenigen Ästen auf den unteren 3 m waren Bergahorn, Esche und Kirschbaum; Buche und Eiche lagen im Mittelfeld, während Fichte, Tanne und Hagebuche astreich waren (Abbildung 18).

### 3.3 Pflegeaufwand

Das Forstpersonal erfasste seinen Arbeitsaufwand pro Teilparzelle jeweils selbst. Zum Einsatz kamen ein Förster, Forstwarte und Lehrlinge: 2007 v.a. Forstwarte und Lehrlinge, 2011 etwas mehr Forstwarte als Lehrlinge, 2014 ein Förster. Für die Wiederholungen 1 und 2 liegen die Aufwände 2014 noch nicht vor; die Aufwände 2014 sind also noch als provisorisch zu betrachten. Es wurde mit der Motorsäge gearbeitet; die Motorsägestunden betragen 2007 rund 60%, 2011 und 2014 100% der Arbeitsstunden.

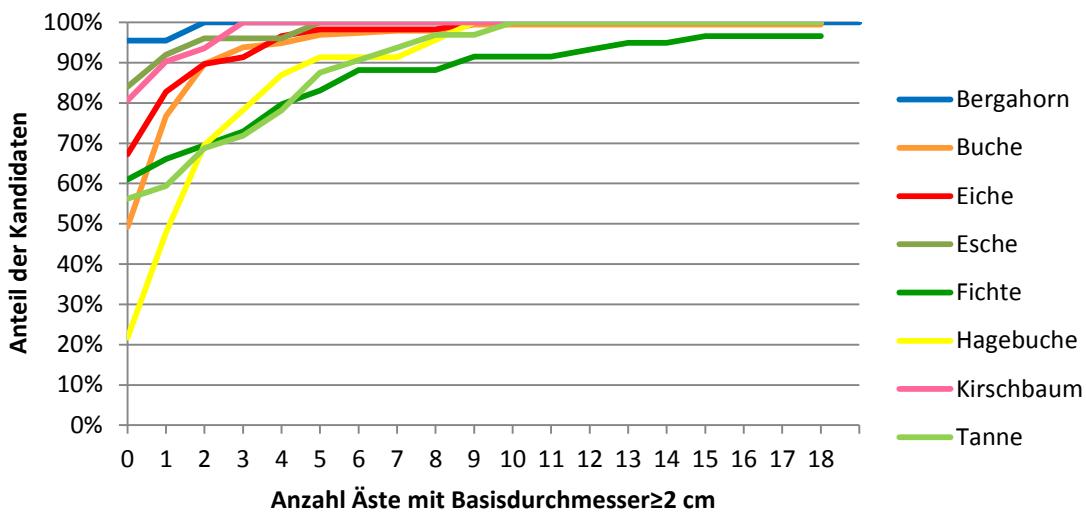


Abbildung 18. Kumulativer Anteil der Kandidaten mit bestimmten Anzahlen lebender Äste mit Basisdurchmesser  $\geq 2$  cm in der Stammsektion 0-3 m im Jahr 2014, für Baumarten mit  $\geq 20$  Kandidaten.

Im Durchschnitt betrug der gesamte Pflegeaufwand, unter der Annahme, dass er in den Wiederholungen 3 und 4 im Jahr 2014 gleich gross war wie in den Wiederholungen 1 und 2, in Pflegeverfahren B 6,9 Std./ha, in Verfahren C 36,3 Std./ha und in Verfahren D 83,4 Std./ha. Bei einem durchschnittlichen Systemansatz von 60 CHF/Std.<sup>2</sup> ergibt das Kosten von 413 CHF/ha in Verfahren B, 2180 CHF/ha in Verfahren C und 5002 CHF/ha in Verfahren D. Diese Zahlen sind als Grössenordnungen zu betrachten. Für eine detaillierte Analyse hätten eigentliche Arbeitsstudien mit unabhängiger Erfassung durchgeführt werden müssen.

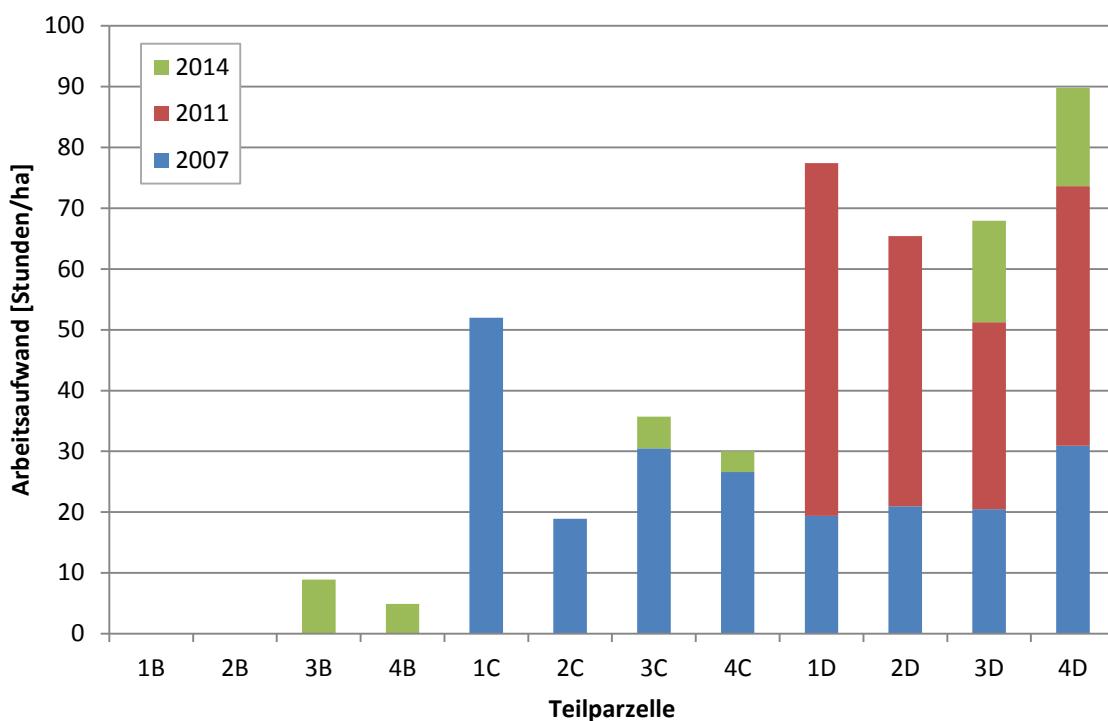


Abbildung 19. Arbeitsaufwand für die Pflegeeingriffe von 2003 bis 2014 pro Teilparzelle nach Eingriffsjahr. Für 2014 liegen die Aufwände nur für die Wiederholungen 3 und 4 vor.

<sup>2</sup> Annahme: Motorsäge 15 CHF/h, Lehrling 25 CHF/h, Forstwartin 52 CHF/h, Förster 65 CHF/h

## 4 Diskussion

### 4.1 Aussagebereich der Versuchsanlage in Diessenhofen

Die Versuchsanlage in Diessenhofen erlaubt Aussagen für Mischwälder auf guten Buchenwaldstandorten mit dichter Naturverjüngung; vorsichtig dürfen die Resultate verallgemeinert werden auf Mischwälder auf weiteren Mittellandstandorten. Einmalig an der Versuchsanlage ist deren Flächenausdehnung von 7,3 ha. Sie erlaubt Aussagen im operationellen Massstab, was Pflegeaufwände betrifft. Einen derart grossen Versuch einzurichten wäre im Rahmen der üblichen Bewirtschaftung kaum möglich gewesen; die Gelegenheit dazu bot die durch den Sturm Lothar im Dezember 1999 geschaffene Windwurffläche.

Die im Versuch getesteten Pflegeverfahren sind in der Praxis eingesetzten Verfahren ähnlich. Die Kandidaten wurden zwar in allen Verfahren sehr früh im Stadium Jungwuchs bis beginnende Dickung bestimmt; dies geschah aber, um die Geschichte einer möglichst grossen Anzahl Kandidaten nachvollziehen zu können, und nicht im Sinn einer definitiven Auswahl. Dies zeigt auch der mit 64% grosse Anteil der im bisherigen Verlauf des Experimentes ausgewechselten Kandidaten. In der Praxis werden Z-Bäume in Naturverjüngungen nach einer Qualifizierungsphase oft erst bei einer Höhe von 12 bis 16 m bestimmt (Allegrini & Depierre 2000, Bastien 2005); diese Höhen haben die Kandidaten im Allgemeinen noch nicht erreicht (Abbildung 14).

### 4.2 Entwicklung des Bestandes

Die Stammzahl der mindestens 20 cm grossen Bäumchen halbierte sich von 2003 bis 2014 von rund 31'000/ha auf rund 15'900/ha (Tabelle 1). Diese Werte liegen im oberen Bereich der auf anderen geräumten Lotharflächen gefundenen Werte (Brang et al. 2015, Wohlgemuth & Kramer 2015), die Abnahme ist aber typisch. Die Grundfläche war 2003 noch vernachlässigbar klein und nahm bis 2014 auf rund 20 m<sup>2</sup>/ha zu (Tabelle 1). In Teilflächen der Pflegeverfahren A und B waren die Stammzahlen tendenziell höher als in solchen der Verfahren C und D, entsprechend den Erwartungen, wobei die Streuung gross war. Die Eingriffe in den Pflegeverfahren C und D verminderten die Grundflächen gegenüber den Verfahren A und B deutlich. Die Grundflächen entsprechen den üblicherweise in solchen Beständen am Übergang von Dickung zu Stangenholz gefundenen Werten (Valeix & Micheneau 2007, Ammann 2012a). Der durchschnittlich sehr dichte Bestand enthält auch Lücken von bis zu rund 10 m Durchmesser, vor allem an Stellen, an welchen sich nach dem Sturm Lothar Brombeerteppiche bildeten. Die Unterschiede in der Dichte zeigten sich auch in erheblichen zufälligen Unterschieden zwischen den Pflegeverfahren, mit einer deutlich höheren Dichte in Pflegeverfahren B als in Pflegeverfahren A bei gleicher Behandlung, denn Eingriffe fanden in den betroffenen acht Teilflächen bis 2014 nicht statt.

Die Naturverjüngung war 2015 gekennzeichnet von einer grossen Baumartenvielfalt mit über 20 Arten, aber bei klarer Buchendominanz (58% der Stammzahl) und nur seltenen Eichen (2,1%). Die meisten Bäumchen waren dünn: 97% von ihnen wiesen einen BHD unter 5 cm auf. Eine grosse Baumartenvielfalt bei rund 50% Buchen-Stammzahlanteil wurde auch auf vielen geräumten Lotharflächen gefunden (Brang et al. 2015, Wohlgemuth & Kramer 2015).

### 4.3 Entwicklung der 2003 gewählten Kandidaten

Die Kandidaten wurden 2003 aus versuchstechnischen Gründen in einem sehr frühen Stadium bestimmt; teilweise hatten sie die Baumhöhe von 1,3 m noch nicht einmal erreicht. Von den 480 im Jahr 2003 bestimmten Kandidaten waren im Jahr 2014 171 Bäume (36%) immer noch Kandidat. Die übrigen wurden aus unterschiedlichen Gründen ersetzt. Die hohe Ausfallrate von 64% hängt zweifelsohne mit der frühen Auswahl zusammen.

Zur Erklärung des Verlusts des Kandidatenstatus wurden drei logistische Regressionsmodelle berechnet: 1) ein Modell mit allen Bäumen, 2) ein Modell zur Erklärung der Wechsel bei den im Bestockungsziel wenig erwünschten Buchen und Hagebuchen, und 3) ein Modell zur Erklärung der Wechsel bei den im Bestockungsziel erwünschten übrigen Baumarten. Die drei Modelle führten zu teils unterschiedlichen Ergebnissen, was aber plausibel ist, weil die Baumarten sich unterschiedlich verhalten und in den Modellen 2) und 3) wegen der geringeren Anzahl Beobachtungen die Nachweiskraft reduziert ist.

Im Modell mit allen Bäumen behielt ein Kandidat seinen Status häufiger, wenn er ein Kirschbaum, eine Tanne oder eine Eiche war, wenn er vorherrschend oder zumindest herrschend war (2007), wenn er in einer Teilfläche mit Pflegeverfahren D oder C stand, wenn er 2003 von nur wenigen Konkurrenten umgeben war und je gedrungener seine Stammform 2003 war. Keine Rolle spielten dagegen der BHD (2003; s. aber unten das Modell mit Buche und Hagebuche), die Baumhöhe (2003), die Stammqualität (2007; s. aber unten das Modell mit übrigen Baumarten) und der Deckungsgrad der Vegetation (2003) sowie derjenige der Brombeeren (2003). Ein Kandidat verlor seinen Status häufiger, wenn er eine Esche oder eine Hagebuche war.

Gemäss dem Modell mit Buchen und Hagebuchen (Tabelle 7) konnten Kandidaten ihren Status bei grösserem BHD und in der Wiederholung 1, in der sich 2003 bereits eine reichliche Buchen-Vorverjüngung etabliert hatte und die 2014 immer noch deutlich am dichtesten war, eher halten. Gemäss dem Modell mit allen übrigen Baumarten behielten Kandidaten ihren Status seltener im Pflegeverfahren Kontrolle, im Vergleich zur intensiven Pflege des Verfahrens D, bei schlechter Stammqualität und wiederum bei Lage in der Wiederholung 1.

Unter den Baumarten erwiesen sich Kirschbäume als überraschend erfolgreiche Kandidaten. Sie waren 2014 im Vergleich zu anderen Baumarten hoch (Abbildung 14a) und dabei signifikant grösser, dicker und gedrungener als Buchen (s. auch Abbildung 15). Zudem wurden 2003 nur 15 Kirschbäume bestimmt, 2014 waren aber 31 Kandidaten (6,5%) Kirschbäume. Ihr Entwicklungspotenzial war also 2003 zu pessimistisch eingeschätzt worden. Auch Fichten, Tannen und Bergahorne konnten ihren Kandidatenstatus eher halten als Buchen, wobei die Effekte teils nicht signifikant waren (Tabelle 4), und sie konnten ihren Anteil an den Kandidaten steigern (Abbildung 12), am deutlichsten Fichten von 21 auf 58 Kandidaten. Bei diesen Baumarten dürfte nicht das überdurchschnittliche Wachstum entscheidend gewesen sein, dass sie ihren Status halten konnten (Abbildung 14a und b spricht dagegen). Hingegen weisen Stämme dieser Baumarten wenig Qualitätsmängel auf (Abbildung 16). Sie wurden daher oft als Ersatz für Kandidaten gewählt, die ausgefallen waren, sei es weil diese Qualitätsmängel entwickelten oder weil sie im Wachstum nicht mit ihren Konkurrenten mithalten konnten. Bei den Eichen dürfte die erhöhte Wahrscheinlichkeit des Erhalts des Kandidatenstatus hingegen darauf zurückzuführen sein, dass sie stark gefördert wurden. Sie waren 2014 unterdurchschnittlich gross und ihre Stämme dünn (Abbildung 14a und b). Trotz der Förderung nahm ihr Anteil an den Kandidaten von 74 auf 58 ab (Tabelle 5). Eschen wurden

wegen Symptomen der Eschenwelke (*Chalara fraxinea*) als Kandidaten oft fallengelassen; dass auch die verbleibenden Kandidaten teils befallen sind, legen deren niedrige BHD-Werte nahe (Abbildung 14b). Hagebuchen wurden dann als Kandidaten gewählt, wenn keine Alternative bestand. Buchen verloren ihren Kandidatenstatus häufiger als die meisten anderen Baumarten, teils wegen Wuchsunterlegenheit, teils wegen Qualitätsmängeln (Abbildung 16).

Die grosse Bedeutung der sozialen Stellung für das Bewahren des Kandidatenstatus ist nicht überraschend; ähnliche Resultate ergab z.B. auch eine Studie zur Konkurrenz von Buche und Eiche auf Lothar-Sturmflächen (Otto et al. 2009).

Dass die Baumhöhe 2003 keine Aussagekraft bezüglich Entwicklung des Kandidatenstatus hatte und der BHD 2003 nur im Regressionsmodell mit Buchen und Hagebuchen, mag auf den ersten Blick überraschen, zumal da der BHD von Kandidaten mit Statusverlust rund 50% kleiner war als bei den übrigen Kandidaten (Tabelle 9). BHD und Baumhöhe 2003 variierten allerdings innerhalb der Versuchsfläche stark, und sie sagen auch wenig über den Zuwachs der Kandidaten aus. Offensichtlich bildet die nur qualitativ angesprochene soziale Stellung 2007 die Wuchspotenz der Kandidaten besser ab. Dabei wird angenommen, dass die soziale Stellung 2007 auch diejenige von 2003 wiedergibt; 2003 wurde die soziale Stellung nicht angesprochen, weil viele Kandidaten dazu noch zu klein waren.

Neben der sozialen Stellung lieferten die zwei Faktoren Schlankheitsgrad und Anzahl Konkurrenten, beide 2003 bestimmt, weitere, mit der Konkurrenzsituation zusammenhängende Erklärungsbeiträge an die Kandidatenentwicklung. In Modellen mit Einschluss des BHD-Zuwachses von 2003 bis 2014 hing dieser signifikant mit der Statusentwicklung zusammen, was auch aus Unterschieden im durchschnittlichen Zuwachs von Bäumen mit und ohne Statusverlust hervorgeht (Tabelle 9).

Die statistische Modellierung ergab nur bei den «übrigen Baumarten» (ohne Buche und Hagebuche), dass die Stammqualität der Kandidaten den Kandidatenstatus beeinflusste. Dieses Merkmal wurde 2007 erstmals erfasst. Kandidaten mit schlechter Stammqualität (erfasst 2007) wurden im Jahr 2014 bei den übrigen Baumarten eher durch qualitativ bessere Nachbarbäume ersetzt und verloren damit ihren Status. Es gibt mehrere Erklärungen für die Abwesenheit eines solchen Effektes bei Buche und Hagebuche: 1) Wenn 2007 ein Baum trotz schlechter Stammqualität seinen Status bewahrte, war in der Nähe kein geeigneter Ersatz zur Stelle und es drängte sich auch bis 2014 keiner auf. 2) Bei Fehlen von Bäumen mit guter Stammqualität wurden Kandidaten in erster Linie aufgrund ihrer Wuchsüberlegenheit (vorherrschende soziale Stellung) gewählt und konnten daher ihren Status bis 2014 halten. 3) Buchen und Hagebuchen büssten ihre 2007 als gut beurteilte Stammqualität bis 2014 oft ein, z.B. wegen Verzwieselung.

Während die Pflegeverfahren den BHD und den Schlankheitsgrad der Kandidaten nicht beeinflussten, reduzierte Verfahren D die Baumhöhe geringfügig; dies vermutlich, weil hier der Anteil der eher kleinen Eichen doppelt so gross war wie in den Verfahren A, B und C.

#### 4.4 Baumartenvielfalt der Kandidaten

Die Vielfalt der Kandidaten lag 2014 bei 7,1 Baumarten pro Teilparzelle und war damit gross. Wie erwartet nahm sie von 2003 bis 2014 leicht ab, und dies am ausgeprägtesten in den ungepflegten Teilparzellen. Es ist zu erwarten, dass die Vielfalt der Kandidaten weiter zurückgeht. Ob sich dann die Unterschiede zwischen den Pflegeverfahren verstärken und in

unbehandelten Teilparzellen die Baumartenvielfalt namhaft abnimmt, ist offen. Zwei Gründe lassen dies vermuten: 1) Bei abnehmender Bestandesdichte verringert sich die Möglichkeit, beim Ersatz von Kandidaten noch nicht vertretene Baumarten zu berücksichtigen; 2) die vertretenen Baumarten sind z.T. wenig schattentolerant und könnten absterben, falls sie von Buchen bedrängt werden, wie das in Naturwaldreservaten festgestellt wurde (Heiri et al. 2009).

## 4.5 Zustand der Bestockung 2014

Die in Kap. 4.3 dargestellten Verluste an Kandidaten und die Bezeichnung von Ersatzkandidaten an deren Stelle führten zu einer Zunahme der Abweichung vom Bestockungsziel von ursprünglich 40% Buche, 20% Eiche, 10% Esche, 10% Bergahorn und 20% anderen Baumarten (Föhre, Douglasie, Fichte, Tanne). Zwar liessen die hohen Verluste an Buchen deren Anteil von ursprünglich 50% auf 41% fallen, womit das Bestockungsziel von 40% im Jahr 2014 erreicht war. Grössere Abweichungen ergaben aber sich bei Eichen (Rückgang von 16% auf 12%), Eschen (Rückgang von 11% auf 5%), Bergahornen (Zunahme von 2 auf 5%, aber immer noch weit unter den angestrebten 10%), und bei den anderen Baumarten, die von 21% auf 37% zunahmen.

Es zeigte sich, dass auf diesen wüchsigen Standorten der angestrebte Eichenanteil von 20% bei starker Konkurrenz durch andere Laubbäume kaum realisierbar ist; es ist damit zu rechnen, dass der jetzige Anteil von 12% weiter zurückgeht, auch weil Eichen oft Qualitätsmängel aufweisen (Abbildung 16).

Fiel ein Kandidat aus, wurde in seiner Nähe ein neuer gesucht und als Kandidat bestimmt. Die Kombination von geringen Ausfällen und Ersatz durch Kandidaten derselben Baumart führte dazu, dass an Orten, wo 2003 eine Fichte oder eine Tanne als Kandidat bestimmt worden war, auch 2014 noch eine Fichte bzw. eine Tanne stand (Abbildung 11). Besonders selten war dies hingegen bei der Esche der Fall.

Bezüglich Stammqualität der Kandidaten waren die Unterschiede zwischen den Baumarten gross (Abbildung 16). Qualitätsmängel wiesen insbesondere Buchen, Eichen und Hagebuchen auf. Die ausgewiesene Häufigkeit von Zwieseln und Steilästen (Abbildung 16) ist zurückhaltend zu interpretieren; sie illustriert die insgesamt schlechte Stammqualität der Buchen in Diessenhofen und deren Neigung zu Zwiesel- und Steilastbildung, welche im Vorbestand wegen Dichtstand nicht zum Vorschein kam, aber die Zwiesel und Steiläste dürften sich teilweise noch auswachsen. Die natürliche Astreinigung ist bei weitem noch nicht abgeschlossen, wie der hohe Anteil von 41% (Sektion 0-3 m über Boden) bzw. 75% (Sektion 3-6 m) von Kandidaten mit Ästen mit Basisdurchmesser von mindestens 2 cm zeigt.

## 4.6 Wirksamkeit der Eingriffe und ökonomische Aspekte

Die Pflegeeingriffe hatten bis 2014 folgende Wirkung: 1) sie reduzierten die Grundfläche um etwa 25%; 2) sie erhöhten insgesamt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kandidat seinen Status bewahren konnte, und sie hatten diese Wirkung auch nur bei Betrachtung aller Baumarten ohne Buche und Hagebuche; 3) sie verminderten den Verlust an Baumarten vermutlich leicht, und 4) sie (nur Verfahren D) verminderten die Baumhöhe geringfügig.

Die wichtigste Wirkung dürfte die Beeinflussung des Status der Kandidaten sein, die relativ stark und in der erwarteten Reihenfolge ausfiel (Abbildung 10, Tabelle 4). Im Mittel der

Verfahren A und B, die bis 2014 unbehandelt blieben, bewahrten 23% der Kandidaten ihren Status bis 2014; im Verfahren C mit einem Eingriff 2007 bewahrten 42% ihren Status, im Verfahren D mit drei Eingriffen und zusätzlichen Massnahmen zwischen den Kandidaten 55%. Umgerechnet auf Anzahl bewahrte Kandidaten pro ha ergibt dies Werte von rund 115/ha (Annahme 10 m mittlerer Abstand zwischen Kandidaten im Dreiecksverband). Von 115 Kandidaten bewahrten also 26 ihren Status ohne Eingriff, 48 mit einem Eingriff und 63 mit drei Eingriffen. Diese Zahlen lassen sich nur grob nach Baumarten splitten, weil die Variation der Baumartenanteile zwischen den Teilparzellen zu gross ist. So liegt der Eichenanteil in den Pflegeverfahren A bis D bei 10%, 9%, 8% und 22% (Umrechnung der Angaben in Tabelle 2). Von den verlorenen Kandidaten konnten allerdings viele durch Nachbarbäume ersetzt werden, wobei der Anteil erwünschter Baumarten wie Kirschbaum, Bergahorn, Fichte und Tanne erhöht werden konnte.

In der Folge soll abgeschätzt werden, wie viel das Bewahren eines Kandidaten sowie das Bewahren eines Kandidaten einer «erwünschten» Baumart von 2003 bis 2014 gekostet hat. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Eingriff in Pflegeverfahren B sich 2014 noch nicht ausgewirkt hat, Verfahren B also noch identisch mit Verfahren A ist. Mit Eingriffskosten von 2100 CHF/ha in Verfahren C lässt sich der Status von 22 (48-26) Kandidaten/ha bewahren, mit Kosten von 5000 CHF/ha in Verfahren D der Status von 37 (63-26) Kandidaten/ha. Pro Kandidat ergibt dies Kosten von 95 CHF pro Kandidat in Verfahren C und von 135 CHF pro Kandidat in Verfahren D. Das Verfahren D weist im Vergleich zum Verfahren C Mehrkosten von 193 CHF pro Kandidat auf.

Dies sind Kosten für Kandidaten aller Baumarten. Interessiert nur, welche Beträge pro Kandidat der «erwünschten» Baumarten aufzuwenden sind, müssen die Angaben in Tabelle 6 umgerechnet werden. Von den Kandidaten mit Baumartenwechsel waren 45 (37 + 8) Buchen oder Hagebuchen, 15 (11 + 4) Eichen und 99 (76 + 23) andere Baumarten. Von 159 neuen Kandidaten waren also 114 oder 72% weder Buchen und Hagebuchen. Damit sind die obigen Zahlen bewahrter Kandidaten zu korrigieren: Aus 22/ha im Verfahren C ergeben sich 16/ha, aus 37/ha im Verfahren D 27/ha. Somit erhöhen sich die Kosten pro bewahrter Kandidat in Verfahren C auf 133 CHF, in Verfahren D auf 188 CHF, und für die Mehrkosten in Verfahren D im Vergleich zu Verfahren C auf 269 CHF.

In diesen Berechnungen unberücksichtigt sind langfristige Effekte der Eingriffe, welche sich im Versuch in Diessenhofen wegen erst 11 Jahren Beobachtung evtl. noch nicht eingestellt haben, wie ein gesamthafter Rückgang der Baumartenvielfalt. Trotzdem zeigen diese Berechnungen Grössenordnungen auf und belegen, dass das Beeinflussen des Anteils der Baumarten in dichten Dickungen von Laubbäumen kostspielig ist. In Diessenhofen dürfte es die Kosten erhöht haben, dass der Eichenanteil in der Naturverjüngung zu Beginn nur bei 2% lag, aber massiv auf 20% verzehnfacht werden sollte.

Der Pflegeaufwand von 2200 CHF/ha im Verfahren C und 5000 CHF/ha im Verfahren D ist moderat. Ammann (2012b) schätzt Pflegekosten von 2000 bis 3000 CHF/ha zum Erzielen wertvoller Mischbestände (vgl. auch Ammann 2013). Die in Diessenhofen angewandten Pflegeverfahren C und D wären aber in Partien mit reiner Buche, mit Esche und Bergahorn kaum sinnvoll, denn hier hätte mit dem Ersteingriff noch zugewartet werden können. Zum Erhalten von konkurrenzschwachen Mischbaumarten wie Eichen, Lärchen und Douglasien sind hingegen frühere Eingriffe nötig. Kirschbäume scheinen auf den untersuchten Buchenwald-Standorten in der Jugend sehr konkurrenzstark zu sein und können sich bis ins schwache Stangenholz von selbst behaupten.

In der Nachbarschaft aufgegebener Kandidaten wurde Ersatz für sie gefunden, und zwar mit einem hohen Anteil «erwünschter» Baumarten und mit Bäumen ähnlicher Dimension, wie sie die weiterhin tauglichen Kandidaten Status aufwiesen. Dies belegt, dass sich der Bestand in ungepflegten Partien von selbst so differenziert, dass vitale Bäume der Oberschicht als Kandidaten zur Verfügung stehen.

## 4.7 Empfehlungen für die Praxis und Ausblick

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse des Jungwaldpflege-Versuches in Diessenhofen, dass sich mit Jungwaldpflege-Eingriffen Mischbaumarten zur Buche erhalten lassen, dass diese Eingriffe allerdings kostspielig sind. Daher sollten sie räumlich konzentriert und nicht überall angewendet werden. Zur Konzentration stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- 1) Konzentration auf ausgewählte Bestände: Es werden nur Dickungen mit Produktionsziel Wertholz behandelt, welche einen gewissen Mindestanteil (z.B. 30%) an solchen Mischbaumarten in der Oberschicht enthalten. Bereits fast artenreine Dickungen aus konkurrenzstarken Arten, v.a. aus Buche, bleiben unbehandelt, denn hier werden die Erst- und Folgeeingriffe teuer, sollen sie wirksam sein. In sehr artenreichen Dickungen (mehr als etwa 5 Arten in der Oberschicht) ist es ebenfalls vertretbar, auf Pflege bis ins schwache Stangenholz zu verzichten. Hier ist ein gewisser Verlust der Artenvielfalt kein Nachteil.
- 2) Konzentration auf wenige Z-Bäume: In zu behandelnden Dickungen sollen nur wenige vitale und qualitativ gute Z-Bäume gefördert werden. Die Dichten gemäss der Literatur (z.B. Ammann 2013) sind als Maximalwerte zu betrachten. Es ist durchaus möglich, auch nur 25 Z-Bäume pro ha zu fördern (Claessens & Perin 2014).

Diese Empfehlungen sind kongruent mit «einer zeitlich gestaffelten Wahl der Z-Bäume, in einem räumlichen Nebeneinander der Konzepte, welche nicht flächig angewandt werden, sondern bezogen auf den Einzelbaum» (Ammann 2012b). Zu einer konsequenten Förderung der gewählten Z-Bäume gehören auch die Stammqualität steigernde Wertastungen (Häne 2003), die je nach Bestandesdichte bei Kirschbaum, Douglasie, Fichte und Tanne nötig scheinen und sogar bei Eichen angebracht sein können.

Die Versuchsanlage in Diessenhofen ist bezüglich Ausdehnung und Beobachtungsdauer einzigartig. Wie die Diskussion der Ergebnisse in diesem Kapitel gezeigt hat, zeigen sich zwar – im Unterschied zur Situation 2007 (Streit & Brang 2007) erste Auswirkungen der Pflegeverfahren auf die Bestandesstruktur und die Baumartenzusammensetzung. Es sind aber weitere Auswirkungen zu erwarten. Wie stark diese ausfallen, dürfte die Beurteilung der Verfahren beeinflussen. Daher ist es für eine abschliessende Einschätzung der Verfahren zu früh. Daher ist beabsichtigt, die weitere Entwicklung des Jungwaldes wissenschaftlich weiter zu erforschen. Die weitere Beobachtung der Versuchsfläche wurde aus diesem Grund mit den Waldeigentümern vertraglich gesichert.

## 5 Literatur

### 5.1 Zitierte Literatur zur Jungwaldentwicklung und -pflege

- Allegrini C, Depierre A. 2000. La sélection des arbres d'avenir. Conseil régional de Franche-Comté, ONF-SFFC, Thisé, France. 16 S.
- Ammann, P. 2012a. Waldbaulich-ertragskundliche Beobachtungsflächen. Beobachtungsfläche Villnachern (Forstbetriebe Villnachern) Aarau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Wald: 4 S.
- Ammann P. 2012b. Jungwaldpflegekonzepte mit biologischer Rationalisierung. Zürcher Wald 44(2): 12-15.
- Ammann P. 2013. Erfolg der Jungwaldpflege im Schweizer Mittelland? Analyse und Folgerungen. Schweiz Z Forstwes 164: 262-270.
- Bastien Y. 2005. Arbres-objectifs et élagage artificiel. ENGREF, Centre de sylviculture de Nancy, France. 21 S.
- Brang P, Bürgi A, Zingg A, Nobis M. 2003. Forschungsprojekt Jungwaldpflegeverfahren nach Lothar. Beilage zu einer Vereinbarung über eine Forschungsbeteiligung zwischen dem Kanton Thurgau und der WSL. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 11 S.
- Brang P, Wohlgemuth T (Red.) 2013. Natürliche Wiederbewaldung von Sturmflächen in der Schweiz. Schlussbericht des Projektes Wiederbewaldung Windwurfflächen 2008-2012. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 99 S.
- Brang P, Kamm S, Mayland J-P. 2004. 2004. Kulturpflege auf Sturmflächen: erhebliches Sparpotenzial. Wald und Holz 85(3): 54-57.
- Brang P, Hilfiker S, Wasem U, Schwyzer A, Wohlgemuth T. 2015. Langzeitforschung auf Sturmflächen zeigt Potenzial und Grenzen der Naturverjüngung. Schweiz Z Forstwes 166: 147-158.
- Brücker R. 2013. Kandidatenmarkierung Versuchsfläche Diessenhofen (Buchberg TG) April/Mai 2013. Technischer Bericht. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2 S.
- Claessens H, Perin J. 2014. Parcelles expérimentales de la sylviculture d'arbres-objectif. Gembloux, Gembloux Agro-Bio Tech: 16 S.
- Häne K. 2003. Wertastung. Lehrmittel zur natürlichen und künstlichen Astreinigung. Lyss und Birmensdorf, CODOC und Eidgenössische Forschungsanstalt WSL.
- Heiri C, Wolf A, Rohrer L, Bugmann H. 2009. Forty years of natural dynamics in Swiss beech forests: structure, composition, and the influence of former management. Ecological Applications 19(7): 1920-1934.
- Kneubühler S, Dämpfle L. 2014. Dokumentation der Feldaufnahmen 2014 im Buchberg bei Diessenhofen TG. Technischer Bericht. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. 14 S.

Ninove C. 2014. Dispositif expérimental de sylviculture d'arbres objectifs au sein d'un recrû naturel établi suite à l'ouragan Lothar : analyse au terme de 11 années de suivi (Diessenhofen, Suisse). Travail de Master, Gembloux Agro-Bio Tech. Gembloux, Université de Liège, 77 S.

Nobis M, Bürgi A. 2004. Jungwald-Pflegekonzepte auf grossen Windwurfflächen. In: Angst C, Bürgi A, Duelli P, Egli S, Heiniger U, Hindenlang K, Lässig R, Lüscher P, Moser B, Nobis M, Polomski J, Reich T, Wermelinger B, Wohlgemuth T. Waldentwicklung nach Windwurf in tieferen Lagen der Schweiz. Schlussbericht eines Projektes im Rahmen des Programms «LOTHAR Evaluations- und Grundlagenprojekte». Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, SS. 78-85.

Otto D, Wagner S, Brang P. 2009. Konkurrenz zwischen Stieleiche und Buche auf Lothar-Sturmflächen. Schweiz Z Forstwes 160(5): 114-123.

Rüegg D. 2002. Untersuchungen über die Entwicklung der Verjüngung und das Verhalten von Schalenwild in Lothar-Sturmgebieten. UVSL Bulletin 1/2002. 8 S.

Rüegg D. 2003. Lothargebiet Fläche Buchberg, Bezirk Diessenhofen (TG). UVSL Bulletin 2/2003. 3 S.

Schmider P, Winter D, Lüscher P. 2003. Wälder im Kanton Thurgau. Waldgesellschaften, Waldstandorte, Waldbau. Frauenfeld, Forstamt Kanton Thurgau.

Streit K, Brang P. 2007. Forschungsprojekt Jungwaldpflegeverfahren nach Lothar Buchberg, Diessenhofen TG. Bericht zu den Feldaufnahmen 2007. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 21 S.

WSL, BUWAL 2001. Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse. Birmensdorf, Bern, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL.

Valeix J, Micheneau C. 2007. La surface terrière, méthodes de mesure et intérêts. Rendez-Vous techniques ONF 18: 82 S.

Wohlgemuth T, Kramer K. 2015. Waldverjüngung und Totholz in Sturmflächen 10 Jahre nach Lothar und 20 Jahre nach Vivian. Schweiz Z Forstwes 166 (3): 135-146.

## 5.2 Literatur zu R und R Packages

R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S. 2014. lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4. R package version 1.1-7. <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>.

Fox J, Weisberg S. 2011. An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>

Hothorn T, Bretz F, Westfall P. 2008. Simultaneous Inference in General Parametric Models. Biometrical Journal 50(3): 346--363.

Pohlert T. 2014. The Pairwise Multiple Comparison of Mean Ranks Package (PMCMR). R package.

- Ripley B, Lapsley M. 2013. RODBC: ODBC Database Access. R package version 1.3-10. <http://CRAN.R-project.org/package=RODBC>
- Sarkar D. 2008. Lattice: Multivariate Data Visualization with R. Springer, New York. ISBN 978-0-387-75968-5
- Wickham H. 2009. ggplot2: elegant graphics for data analysis. Springer New York.
- Wickham H. 2011. The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis. *Journal of Statistical Software*, 40(1), 1-29. <http://www.jstatsoft.org/v40/i01/>.

## 6 Anhang

### 6.1 Bilddokumentation



Abbildung 20. Kirschbaum-Kandidat im Jahr 2013.



**Abbildung 21. Dünne Eiche (links) in Buchen-Dickung, Kontrolle, Wiederholung 1. 2014.**



**Abbildung 22. Buchen-Kandidat 1016, Variante C, Wiederholung 1. 2014.**



**Abbildung 23. Buchen-Kandidat 372, Variante D, Wiederholung 1. 2014.**

## 6.2 Datenbanken

Die Datenbereinigung ist im Dokument «Data\_verification&correction\_2015.02.docx» beschrieben. Die Einzelbaumdaten sind gespeichert in «Diessenhofen\_Data\_2014\_V5.csv».

Die Zeitaufwände sind in der Datei «Arbeitszeiten\_2007-2014.xlsx» erfasst.